



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI ODORIGENE DAGLI ALLEVAMENTI

Assessment of odorous emissions from breedings

Relatore:

Prof. Passerini Giorgio

Tesi di Laurea di:

Luconi Marco

Correlatore:

Ing. Virgili Simone

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

1 INTRODUZIONE	6
1.1 Quadro normativo	7
1.1.1 UNECE.....	7
1.1.2 La Normativa Europea	7
1.1.3 La Normativa Nazionale	9
1.1.4 Le Agenzie e gli istituti per la tutela ambientale: APAT, ISPRA, SNPA	11
1.1.5 La Normativa Regionale italiana	11
1.1.6 Le Agenzie regionali per la protezione ambientale	13
1.2 Determinazione delle emissioni odorigene	13
1.2.1 Simulazione di dispersione degli odori	14
1.2.2 Analisi e valutazione delle emissioni odorigene	15
1.2.3 Unità di misura degli odori	16
1.3 Meccanismo fisiologico di percezione degli odori	17
1.3.1 Anatomia del sistema olfattivo	19
1.3.2 Principali caratteristiche degli odori	21
1.3.3 Gruppi di composti odorosi	27
1.4 Interazioni fisiche e chimiche	29
1.4.1 Proprietà chimico-fisiche e percettibilità delle sostanze odorigene	31
1.4.2 Proprietà che influenzano l'impatto odoroso di una sostanza	31
1.4.3 Fattori soggettivi e cognitivi/psicologici che influenzano la percezione degli odori	33
1.4.4 Fattori ambientali	34
1.4.5 Principali famiglie di composti odorosi	34
1.5 La valutazione delle molestie olfattive	36
1.5.1 Sindrome NIMBY e BANANA	38
1.5.2 I composti odorigeni negli allevamenti	39
1.5.2.1 Effetti tossici riconosciuti dei principali composti odorigeni	40
1.5.3 Emissioni odorigene negli allevamenti zootecnici	43
1.5.3.1 I meccanismi che portano alla formazione di NH ₃ e H ₂ S in allevamento	44
1.5.4 Approcci utili al controllo degli odori nel settore zootecnico	46
2 MATERIALI E METODI	49
2.1 Analisi delle emissioni provenienti dagli allevamenti intensivi di suini	50

2.2 Analisi delle emissioni provenienti dagli allevamenti intensivi di avicoli	51
2.3 Analisi delle emissioni provenienti dagli allevamenti intensivi di bovini	53
2.4 Fattori di emissione associati all'utilizzo delle Migliori Tecniche Disponibili	54
2.4.1 Livello di prestazione ambientale associato all'applicazione delle MTD (BAT-AEL) per le emissioni di ammoniaca dalle stabulazioni suinicole	55
2.4.1.1 BAT 30	55
2.4.2 Tecniche per i ricoveri zootecnici suinicoli	59
2.4.3 Tecniche di trattamento delle emissioni nell'aria nei ricoveri zootecnici suinicoli	64
2.4.4 Tecniche di trattamento dei liquami suinicoli	65
2.5 Livello di prestazione ambientale associato all'applicazione delle MTD (BAT-AEL) per le emissioni di ammoniaca dalle stabulazioni di galline ovaiole e polli da carne	66
2.5.1 BAT 31	67
2.5.2 BAT 32	70
2.6 Livello di prestazione ambientale associato all'applicazione di migliori pratiche per le emissioni di ammoniaca dalle stabulazioni bovine	73
2.6.1 Ricoveri bovini	75
2.6.2 Stoccaggio delle deiezioni nel settore bovino	78
2.6.3 Spandimento dei reflui zootecnici provenienti dal comparto bovino	81
3 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI	86
3.1 Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui per le galline ovaiole e i polli da carne	86
3.2 Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui per la categoria suinicola	88
3.3 Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui per gli allevamenti del comparto bovino	90
3.4 Classificazione degli allevamenti in relazione alle dimensioni previste dalle normative	93
3.4.1 Dimensioni allevamenti intensivi suinicoli e relative emissioni annue per capo di bestiame	93
3.4.1.1 Confronto grafico delle emissioni di ammoniaca provenienti dagli allevamenti suinicoli di piccole, medie e grandi dimensioni	97
3.4.2 Dimensioni allevamenti intensivi avicoli e relative emissioni annue per capo di bestiame	98
3.4.2.1 Confronto grafico delle emissioni di ammoniaca provenienti dagli allevamenti avicoli di piccole, medie e grandi dimensioni	102
3.4.3 Dimensioni allevamenti intensivi bovini e relative emissioni annue per capo di bestiame	104

3.4.3.1 Confronto grafico delle emissioni di ammoniaca provenienti dagli allevamenti bovini di piccole, medie e grandi dimensioni107

4 CONCLUSIONI111

BIBLIOGRAFIA120

1 – INTRODUZIONE

Dicesi Odore la sensazione generata dall'interazione tra alcuni composti chimici, presenti in una miscela gassosa e caratterizzati da sufficiente volatilità, e i recettori del sistema olfattivo.

“L'odore è una risposta soggettiva ad una stimolazione delle cellule olfattive, presenti nella sede del naso, da parte di molecole gassose” [S. Caronno, A. Foschi].

L'interesse crescente dell'uomo nei confronti dell'ambiente e la maggiore attenzione alla qualità della vita, hanno portato negli ultimi decenni a definire gli *odori molesti* come inquinanti atmosferici, attribuendovi una valenza spesso superiore alla reale problematica. La maggiore preoccupazione in questo contesto è soprattutto legata alla paura di rischio tossicologico poiché, condizioni di cattivo odore vengono quasi sempre associate a situazioni insalubri dell'aria. Sebbene non sia stato dimostrato un effetto diretto sulla salute umana, le emissioni odorigene determinano, per la popolazione che risiede in prossimità del disturbo, un effetto sinergico negativo sullo stato psicofisico.

Le emissioni in atmosfera prodotte dagli allevamenti animali sono costituite da gas semplici, da polveri, altri composti volatili e da bioaerosol che possono quindi generare odori.

Trattasi pertanto di sostanze derivanti dal metabolismo animale, dai processi di degradazione biologica delle sostanze organiche contenute nelle deiezioni, dalle stesse attività animali e dalle manipolazioni dei mangimi.



Figura 1: Confronto delle emissioni globali di gas ad effetto serra, provenienti dal settore dei trasporti e dal settore zootecnico (United Nation's Report)

“Se riduci le emissioni di Anidride Carbonica (CO₂) nell'atmosfera, non vedrai alcun segnale nell'atmosfera stessa per circa 100 anni. Se riduci la quantità di emissioni di metano (CH₄), il livello nell'atmosfera scenderebbe rapidamente nel giro di decenni.” [Prof. PhD, Kirk R. Smith, Mental Health, U.C. of Berkeley].

1.1 QUADRO NORMATIVO

Il quadro normativo si snoda in dispositivi legislativi di stampo Europeo che impongono agli Stati membri approcci, regolamenti e direttive volti alla prevenzione e alla riduzione delle Emissioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera; l'Italia in qualità di Stato membro è chiamata a recepire quanto disposto dalla Comunità Europea e trasmetterlo alle Regioni italiane che a loro volta devono mettere a disposizione dei cittadini, le norme regionali necessarie all'attuazione delle Direttive e Linee guida imposte dall'Europa.

1.1.1 – U.N.E.C.E.

La Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (*UNECE*) è stata istituita nel 1947 dall'ECOSOC (*Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite*) ed è una delle 5 Commissioni regionali delle Nazioni Unite, insieme alle Commissioni di Africa, Asia e pacifico, America latina e Caraibi e Asia Occidentale.

Come piattaforma multilaterale, l'UNECE facilita l'integrazione e la cooperazione tra i suoi paesi membri e promuove lo sviluppo sostenibile e la prosperità economica attraverso il dialogo politico, la negoziazione di strumenti giuridici internazionali, lo sviluppo di regolamenti e norme, lo scambio e l'applicazione delle migliori pratiche e la cooperazione tecnica per i Paesi con economie in transizione.

L'UNECE contribuisce a rafforzare l'efficacia delle Nazioni Unite attraverso l'attuazione regionale dei risultati delle conferenze e dei vertici globali; stabilisce anche norme, standard e convenzioni per facilitare la cooperazione internazionale all'interno e all'esterno della regione. Comprende 56 Stati membri in Europa, Nord America e Asia. Oltre 70 organizzazioni professionali internazionali e altre organizzazioni non governative prendono parte alle attività di UNECE.

Il Comitato per le Politiche Ambientali (*Committee Environmental Policy*) è l'organo di governo generale delle attività ambientali dell'UNECE e forum multilaterale per la cooperazione nel settore dell'ambiente nella regione ECE. Il CEP supporta il segretario al processo Ambiente per l'Europa e facilita lo scambio di esperienze in una serie di attività intersettoriali intraprese sotto la guida di UNECE come ad esempio i trasporti, la salute e l'ambiente.

1.1.2 – La Normativa Europea

La necessità di ridurre le emissioni inquinanti in atmosfera, deriva da alcuni impegni specifici presi dall'Italia nell'ambito del protocollo di Goteborg (2003 e revisione del 2012), che a livello Nazionale stabiliva una riduzione delle emissioni di Anidride Solforosa del 59%, degli Ossidi di Azoto del 42%, di Ammoniaca del 6%, dei Composti Organici Volatili del 28% e di Particolato Fine PM2.5 del 22%,

da raggiungere nel 2020 rispetto ai dati dell'anno 2005 presi a riferimento. Dal protocollo di Göteborg discende la *Direttiva 2001/81/CE* del Parlamento Europeo, nota con il nome di *Direttiva NEC (National Emission Ceilings)*, che è stata poi rivista dalla *Direttiva 2016/2284* (recepita in Italia con il D.Lgs. n. 81 del 17 luglio 2018) adeguando gli impegni di riduzione delle emissioni per ciascuno Stato membro nel periodo che va dal 2020 al 2029. Nella *Direttiva NEC* adottata nel 2016 l'UE ha definito riduzioni più ambiziose a partire dal 2030. Gli obiettivi di riduzione delle emissioni dell'UE sono i seguenti: Anidride solforosa riduzione del 79%, Ossidi di azoto riduzione del 63%, Ammoniaca riduzione del 19%, Composti Organici Volatili riduzione del 40% e PM 2.5 riduzione del 49%.

Un'ulteriore normativa che ha ricadute importanti per il settore zootecnico è la *Direttiva 2010/75/UE del novembre 2010* relativa alle emissioni industriali ("prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento"). Questa *Direttiva*, che ha abrogato la *Direttiva IPPC 2008/1/CE*, ha l'obiettivo di evitare o ridurre al minimo le emissioni inquinanti nell'atmosfera, nelle acque e nel suolo, nonché i rifiuti provenienti da impianti industriali e agricoli, al fine di raggiungere un elevato livello di protezione dell'ambiente e della salute.

La *Direttiva* è stata recepita a livello nazionale con il D.lgs. n. 46/2014, che ha modificato il Titolo III-bis relativo all'Autorizzazione Integrata Ambientale del D.lgs. n. 152/2006, introdotto dal D.lgs. n. 128/2010.

Tra le *Direttive* che hanno contribuito a regolamentare e prevenire le emissioni, abbiamo la *Direttiva 91/676/CE* (nota come *Direttiva Nitrati*) che ha individuato le Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN) nelle quali è stato introdotto il divieto di spandimento dei reflui zootecnici oltre il limite massimo di 170 kg di azoto/Ha ed ha regolamentato l'utilizzazione agronomica delle deiezioni zootecniche stabilendo le modalità con cui possono effettuarsi gli spandimenti, contribuendo teoricamente ad un'ulteriore riduzione delle emissioni.

Tuttavia negli ultimi anni si registra che le emissioni sono rimaste stabili o addirittura sono aumentate in alcuni casi, a dispetto di quanto disposto dai provvedimenti normativi sopra citati, così da rendere necessario il ricorso ad una serie di tecniche specifiche che sono state definite ed adottate dalla *Decisione di Esecuzione UE 2017/302 della Commissione Europea*, che stabilisce le conclusioni sulle *Migliori Tecniche Disponibili (BAT)* afferenti l'allevamento intensivo di pollame e/o di suini ai sensi della *Direttiva 2010/75/UE* del Parlamento Europeo e del Consiglio.

Relativamente all'allevamento bovino, di cui non si hanno normative di riferimento, la Commissione Europea il 5 aprile 2022 ha presentato delle proposte per aggiornare la *Direttiva 2010/75/UE*. L'aggiornamento normativo mira ad orientare gli investimenti industriali per trasformare l'Europa in un'economia a inquinamento zero, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050.

La revisione estende il campo di applicazione dell'attuale *Direttiva* sulle emissioni industriali, che al momento si applica a circa 50.000 grandi impianti industriali e allevamenti intensivi in Europa. Questi impianti sono tenuti a rispettare determinate condizioni di emissione applicando le *Migliori*

Tecniche Disponibili per ciascuna attività, stabilite congiuntamente dall'industria, dagli esperti nazionali e dalla Commissione e dalla società civile.

Le nuove norme si applicherebbero gradualmente agli allevamenti di bovini, suini e pollame di maggiori dimensioni che rappresentano circa il 13 % delle aziende agricole commerciali Europee e che, secondo quanto riportato nel comunicato stampa della Commissione, sono un totale di 185.000 e sono ritenute responsabili del 60 % delle emissioni di Ammoniaca e del 43 % di Metano prodotte dal bestiame dell'UE. In particolare rientrerebbero nel campo di applicazione della Direttiva tutti gli allevamenti con oltre 150 "unità di bovino adulto" (UBA), unità di misura che equivale ad aziende con almeno 150 bovini adulti o 375 vitelli, 500 suini o 300 scrofe e 10 mila galline ovaiole; un miglioramento significativo rispetto all'attuale normativa, che si applica solo alle aziende con spazio per più di 40.000 polli, 2.000 maiali o 750 scrofe.

A tal proposito si riportano le dichiarazioni del Commissario all'Ambiente, agli oceani e alla pesca **Virginijus Sinkevičius**: *"Queste nuove norme consentiranno ai grandi impianti industriali e agli allevamenti di svolgere il loro ruolo nel raggiungimento dell'obiettivo del Green Deal europeo e della sua ambizione di zero inquinamento. I cambiamenti creeranno più posti di lavoro. Le misure che affrontano in modo proattivo le crisi dell'inquinamento, del clima e della biodiversità possono rendere la nostra economia più efficiente e resiliente"*.

1.1.3 – La Normativa Nazionale

La Normativa Nazionale Italiana non ha, ad oggi, una legislazione che affronti in modo organico il problema delle emissioni odorigene e tantomeno delle molestie olfattive.

Tuttavia il D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 meglio noto come *"Testo Unico Ambientale"*, fornisce una definizione di inquinamento che nella sua ampiezza può includere anche i composti odorigeni: *"l'introduzione di agenti fisici, nell'aria, nell'acqua o nel suolo, che potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente, causare il deterioramento di beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi"*; la stessa legge, nella parte quinta *"Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera"*, considera la prevenzione e la limitazione delle emissioni di sostanze rilevanti dal punto di vista tossicologico, ma non fa riferimento in modo esplicito ai composti odorigeni.

Come già menzionato si annoverano, a livello Nazionale, Decreti di recepimento delle varie Direttive Europee come il Decreto Legislativo del 30 maggio 2018 n. 81, il quale assume come finalità generale il miglioramento della qualità dell'aria e la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, mirando a fornire un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, recante attuazione della *Direttiva 2008/50/CE* relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

Il Decreto Legislativo n. 81/2018 prevede, in conformità alla *Direttiva 2016/2284*, gli obiettivi di seguito elencati:

- Ridurre le emissioni nazionali annue di origine antropica degli inquinanti biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici (COVNM), ammoniaca e materiale particolato PM_{2,5} per rispettare specifici obiettivi di riduzione entro il 2020 ed il 2030, assicurando il raggiungimento di livelli intermedi entro il 2025; la verifica del rispetto di tali impegni è effettuata tramite l'elaborazione e l'analisi di inventari e proiezioni nazionali delle emissioni da inviare con cadenza predefinita alla Commissione Europea;
- Attivare il monitoraggio delle emissioni di una serie di sostanze per cui non sono previsti obblighi di riduzione. Anche per la verifica di tale adempimento si prevede l'elaborazione di inventari e proiezioni nazionali delle emissioni da inviare con cadenza predefinita alla Commissione Europea.
- Ottenere, con un sistema di monitoraggio, dati relativi agli impatti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi. Per la verifica di tale adempimento si prevede la raccolta e l'invio alla Commissione Europea, con cadenza predefinita, dei dati del monitoraggio.

La riduzione delle emissioni è perseguita tramite l'adozione di un programma di controllo e lo schema di decreto disciplina in modo puntuale tutti gli aspetti procedurali ed istituzionali legati all'elaborazione, all'adozione e all'attuazione del primo e dei successivi programmi nazionali. Particolare rilievo è dato alla definizione di un quadro istituzionale atto ad assicurare un'azione coordinata ed omogenea di più autorità statali, regionali e locali che nasce dall'esigenza, espressamente prevista dalla direttiva, di garantire la coerenza tra il programma nazionale, le politiche in materia di clima e di energia e tutti gli strumenti che interessano i diversi settori fonti di emissioni.

Come più volte ribadito, il decreto mira a contribuire, per quanto possibile, al raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria e a perseguire una progressiva riduzione delle concentrazioni per favorire un allineamento, nel lungo termine, agli orientamenti pubblicati dall'Organizzazione mondiale della sanità. Tende, inoltre, a contribuire al raggiungimento degli obiettivi dell'Unione Europea in materia di biodiversità e di ecosistemi e a promuovere la sinergia tra le politiche in materia di qualità dell'aria e quelle inerenti i settori responsabili di emissioni interessate dagli impegni nazionali di riduzione, comprese le politiche in materia di clima e di energia.

A recepimento della *Direttiva 2008/50/CE* vi è il Decreto Legislativo n. 155/2010, il quale stabilisce che le funzioni amministrative relative alla valutazione ed alla gestione della qualità dell'aria ambiente, competono allo Stato, alle Regioni ed alle Province autonome.

1.1.4 – Le Agenzie e gli Istituti per la tutela ambientale: APAT, ISPRA, SNPA

L'APAT è l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi Tecnici istituita con il Decreto legislativo n. 300 del 30 luglio 1999 dalla fusione dell'Agenzia Nazionale per la Protezione Ambientale (ANPA) e il Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio. Lo scopo di APAT era quello di svolgere compiti e attività tecnico scientifiche di protezione per l'ambiente, tutela delle risorse idriche e difesa del suolo.

Ai sensi dell'articolo n. 28 del Decreto Legge 25 giugno 2008 n. 112, convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 133 del 6 agosto 2008 nacque l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), dall'accorpamento di tre enti controllati dal Ministero dell'Ambiente quali l'APAT, l'INFS (Istituto nazionale per la fauna selvatica) e l'ICRAM (Istituto centrale per la ricerca scientifica e tecnologica applicata al mare).

L'ISPRA si occupa di fare ricerca e protezione ambientale ed è l'ente che coordina le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA) e coopera con l'Agenzia europea dell'ambiente; tale ente pubblico di ricerca è dotato di personalità giuridica di diritto pubblico, autonomia tecnica e scientifica, organizzativa, finanziaria e gestionale amministrativa. Numerose sono le pubblicazioni e i rapporti di ISPRA relativamente alle emissioni di gas nell'atmosfera provenienti dalle attività industriali e zootecniche come ad esempio il report "Italian Emission Inventory 1990-2017" n. 306/2019.

Il Parlamento Italiano nel maggio 2016 ha varato definitivamente la Legge 28 giugno 2016 n. 132 di istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la Protezione e la ricerca Ambientale (SNPA). Questo ente è stato istituito per assicurare omogeneità ed efficacia all'esercizio dell'azione conoscitiva e di controllo pubblico della qualità dell'ambiente, a supporto delle politiche di sostenibilità ambientale e di prevenzione sanitaria per la tutela della salute pubblica. Del Sistema Nazionale fanno parte l'ISPRA, le Agenzie Regionali ARPA e le Agenzie delle province Autonome di Trento e Bolzano per la protezione dell'ambiente.

Il Sistema Nazionale concorre al perseguimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, della riduzione del consumo di suolo, della salvaguardia e della promozione della qualità dell'ambiente e della tutela delle risorse naturali e della piena realizzazione del principio "*chi inquina paga*", mediante lo svolgimento di attività tecnico-scientifiche.

1.1.5 – La Normativa Regionale italiana

Alle Regioni e alle Province autonome è riservata la competenza primaria in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria, con particolare riferimento al tema dell'adozione di misure di contrasto all'inquinamento atmosferico:

- L'adozione di piani e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei livelli critici, per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento del relativo rispetto (articolo 9 del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155);
- L'adozione di piani d'azione contenenti interventi da attuare nel breve termine per i casi in cui insorga, presso una zona o un agglomerato, il rischio che i livelli degli inquinanti superino le soglie di allarme, i valori limite e i valori obiettivo (articolo 10 del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155).

A livello locale, la Regione Lombardia, con la D.G.R. 15 febbraio 2012 n. IX/3018, emanò una linea guida per la caratterizzazione e l'autorizzazione delle emissioni gassose in atmosfera delle attività ad impatto odorigeno. La normativa si applica a tutte le attività che danno luogo ad emissioni odorigene e che sono soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale o ad Autorizzazione alla gestione dei rifiuti o alla Valutazione d'Impatto Ambientale. Vale, quindi, anche per gli allevamenti intensivi. La linea guida prevede che per i nuovi impianti debba essere eseguita una valutazione del potenziale disturbo olfattivo su un raggio di 3 Km dai confini dello stabilimento attraverso una caratterizzazione delle emissioni odorigene, associando ad esse una portata di odore e stimandone la ricaduta sui recettori attraverso l'utilizzo di un modello di dispersione. Per impianti esistenti, in caso di conclamate problematiche di disturbo olfattivo, deve essere attuata una strategia a quattro fasi, così articolate:

- Il sindaco avvia un monitoraggio sistematico effettuato mediante schede di segnalazione da parte dei residenti e di alcuni altri strumenti e criteri. Se dal monitoraggio gli episodi di molestia non superano una definita soglia la situazione viene considerata tollerabile, altrimenti si passa ad un monitoraggio più puntuale effettuato misurando le emissioni dell'insediamento mediante olfattometria dinamica e le ricadute sui recettori mediante modelli di dispersione. Se i criteri di accettabilità sono superati deve essere riesaminata l'autorizzazione, prevedendo descrizioni più stringenti.

Quello della Regione Lombardia è stato il primo tentativo, a livello nazionale, di definire un corpo normativo organico ed articolato per affrontare la problematica delle molestie olfattive. Le altre regioni si sono poi mosse autonomamente mediante le loro ARPA regionali (prendendo a spunto l'operato di Regione Lombardia) anche se sarebbe stato auspicabile adottare un'elaborazione concordata e attuata omogeneamente su scala nazionale.

In Regione Marche, i provvedimenti normativi in materia sono essenzialmente la Delibera di Giunta Regionale Marche (D.G.R.) n. 983/2014 di recepimento del D.lgs. n. 46/2014, la D.G.R. Marche n. 1106/2018 di recepimento del D.lgs. n. 128/2010, la D.G.R. Marche n. 1282 del 22/10/2019 con oggetto *“Direttiva Comunitaria 1991/676/CE - DM Mipaaf n. 9 del 25/02/2016 Approvazione del Programma d'azione preliminare zone vulnerabili da nitrati di origine agricola della Regione Marche - art. 17 NTA del PTA - revoca DGR 1448/2007 e DGR 92/2014”*, la D.G.R. Marche n. 469 del 20 aprile 2020 avente ad oggetto *“Parte Seconda del D.lgs. 152/2006 – Approvazione indirizzi per la gestione dei riesami delle installazioni soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) a seguito*

dell’emanazione delle Conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT Conclusions) settoriali, adottate ai sensi della direttiva 2010/75/UE”.

1.1.6 – Le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale

L’articolo n. 3 del Decreto Legge 4 dicembre 1993, n. 496 e convertito, con modificazioni, dalla Legge 21 gennaio 1994 n. 61, furono gli atti costitutivi delle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA) che svolgono attività tecnico-scientifiche connesse all’esercizio delle funzioni di interesse Regionale previste dall’articolo 1 della Legge n. 61/1994, ed in particolare fornisce prestazioni e servizi in molteplici campi di azione a supporto di regione, Enti locali, Aziende Sanitarie Territoriali, ma anche ad imprese e privati cittadini, ai fini dell’elaborazione di programmi di intervento per la prevenzione, controllo e vigilanza in materia di igiene e salvaguardia dell’ambiente, nonché di verifica della salubrità degli ambienti di vita.

Meritevole di menzione ai fini della tutela e della salvaguardia della salubrità dell’aria, è l’iniziativa dell’Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Marche (ARPAM) relativamente all’istituzione di una piattaforma denominata “*Odor.net*” finalizzata all’individuazione delle aree soggette a maggior impatto odorigeno, grazie alle segnalazioni che i singoli cittadini/comitati/associazioni possono fare tramite l’utilizzo dell’omonima App mobile per smartphone e portale web messi a disposizione dalla stessa Agenzia. I risultati dei campionamenti raccolti stanno man mano popolando un database che costituirà l’input per le elaborazioni statistiche finalizzate al riconoscimento delle impronte emmissive all’origine dei disturbi manifestati dai cittadini.

1.2 DETERMINAZIONE DELLE EMISSIONI ODORIGENE

La vasta gamma di sostanze potenzialmente odorifere, la soggettività fisica e psichica della percezione di un odore, i fattori ambientali, uniti alla complessità del sistema olfattivo, determinano una serie di difficoltà che rendono la caratterizzazione degli odori e il controllo dell’inquinamento olfattivo alquanto complessi.

Dunque, si verifica che la stessa sostanza può essere avvertita dalla popolazione come odore sgradevole/gradevole e tali percezioni risultano soggettivamente modularsi in funzione dei diversi valori della concentrazione.

La valutazione oggettiva dell’impatto odorigeno incontra una serie di difficoltà oggettive che complicano l’approccio all’inquinamento olfattivo e che ne hanno ritardato la regolamentazione rispetto ad altri settori della qualità dell’aria.

Ai sensi della norma UNI EN 13725/2004 “*Qualità dell’aria – Determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica*”, l’impatto odorigeno è valutato in base ai dati

di concentrazione di odore espressi in *unità odorimetriche* o *olfattometriche* al metro cubo (OU_E/m^3) che rappresentano il numero di diluizioni necessarie affinché il 50% degli esaminatori non avverta più l'odore del campione analizzato.

Il campionamento viene eseguito utilizzando uno strumento dedicato specifico con sacchetti in *Nalophan* o altro materiale equivalente inodore del volume di 8 litri che andrà analizzato nelle ore immediatamente successive al campionamento. L'obiettivo principale della norma UNI e quello di fornire una base comune di analisi e di valutazione oggettiva delle emissioni di odori in tutti i Paesi dell'Unione Europea.

Un altro sistema per la misurazione dell'odore prevede l'utilizzo di strumenti specifici denominati *IOMS (Instrumental Odour Monitoring Systems)* con riferimento alla norma *UNI 11761/2019*; la norma individua i requisiti tecnici e di gestione degli *IOMS* (i cosiddetti "*nasi elettronici*") per il monitoraggio e la misurazione periodica degli odori che può avvenire in aria ambiente ("al recettore"), alle emissioni ("alla sorgente") e al confine dell'impianto ("a bordo impianto").

Sono previsti tre di tipi di determinazioni e quindi di strumenti di misura, in funzione del tipo di analisi da eseguire:

- Determinazione di presenza/assenza di odore (misurazione di tipo A);
- Determinazione della classe odorigena (misurazione di tipo B), in cui la scala di misura sulla quale lo strumento restituisce il risultato è costituita da un numero discreto di livelli di odore compresi fra un minimo ed un massimo (es: soglia di allarme);
- Determinazione della quantità di odore espressa in una scala di misura correlata con la concentrazione di odore determinata secondo la norma *UNI EN 13725/2004* (misurazione di tipo C).

1.2.1 – Simulazione di dispersione degli odori

Uno degli strumenti più importanti nella valutazione dell'impatto odorigeno verso determinati recettori è lo "*Studio di Valutazione dell'impatto odorigeno*".

Si tratta di una simulazione di dispersione degli odori in un intorno di 3 km da una o più sorgenti (punti di emissione) tramite un modello matematico. L'obiettivo è di valutare l'entità dell'impatto odorigeno presso i cosiddetti "*recettori sensibili*" (abitazioni, scuole, ospedale, attività produttive, parchi, in genere aree e strutture in cui si prevede la presenza continuativa di persone).

In estrema sintesi il modello prende come dati in ingresso il valore delle emissioni odorigene alle varie sorgenti individuate (puntuali, areali o volumetriche) ed i dati meteorologici dei due anni precedenti. In uscita il modello restituisce una previsione della concentrazione degli odori mediante curve di livello (con concentrazione di odore costante, definite *ISOPLETE*), ciascuna rappresentata da una determinata concentrazione, ed il numero di eventi all'anno in cui si verifica quella concentrazione.

Pertanto è opportuno, innanzitutto, eseguire delle misurazioni in loco individuando le sorgenti emissive di odore, basandosi sull'olfattometria dinamica (UNI EN 13725/2004). Successivamente i dati ottenuti andranno utilizzati per eseguire la simulazione sopra descritta. Il modello esegue uno Studio Previsionale dell'Impatto Odorigeno con un certo grado di incertezza: la restituzione raffigura una rappresentazione della realtà con un certo margine di errore.

D'altra parte il modello può essere un valido strumento per valutare l'effetto di eventuali azioni mitigative dell'impatto odorigeno e come si distribuisce l'odore nelle aree circostanti la sorgente emissiva; è uno strumento che non risolve da solo le problematiche connesse alle emissioni odorigene ma aiuta a capire l'entità delle azioni da mettere in campo per ridurre le molestie olfattive.

1.2.2 - Analisi e valutazione delle emissioni odorigene

Le norme sopra riportate individuano un percorso per la valutazione, la analisi e la mitigazione dell'impatto odorigeno di una qualsiasi attività. Primariamente vanno individuate le sorgenti emissive classificate come convogliate e diffuse, puntiformi, areali e volumetriche; vanno eseguite poi le misurazioni espresse nelle unità di misura OU_E/m^3 o OU_E/s , basandosi principalmente sui criteri stabiliti dall'olfattometria dinamica (UNI EN 13725/2004) o su dati di letteratura, ove disponibili ed accettati dagli Enti di controllo. Il passaggio successivo è l'inserimento dei dati suddetti all'interno del modello di simulazione precedentemente descritto.

L'obiettivo è di ottenere una mappa di impatto che evidenzia i valori di concentrazione orari di picco di odore al 98° percentile* su base annuale al suolo a diversi livelli di concentrazione odorigena espressa in OU_E/m^3 .

**[La concentrazione di odore al 98° percentile è il valore percepito per il 2% delle ore in un anno. Ad esempio, se presso un dato recettore il 98° percentile delle concentrazioni orarie è di 3 OU_E/m^3 , significa che la concentrazione di picco di odore presso quel recettore è inferiore a 3 OU_E/m^3 per il 98% delle ore nell'anno considerato].*

La D.G.R. della Regione Lombardia, ad esempio, prevede i seguenti livelli di concentrazione odorigena:

- 1 OU_E/m^3 il 50% della popolazione percepisce l'odore;
- 3 OU_E/m^3 l'85% della popolazione percepisce l'odore;
- 5 OU_E/m^3 il 90-95% della popolazione percepisce l'odore.

Ad oggi non sono stati ancora definiti dei limiti precisi di odore in atmosfera in funzione della distanza dall'impianto e della tipologia di recettore interessato. Ad ogni modo, in merito ai centri abitati, si deduce la seguente chiave di lettura:

- Concentrazione di odore al recettore inferiore a 3 OU_E/m^3 : *accettabile*;

- Concentrazione di odore al recettore compresa tra 3÷5 OU_E/m^3 : *fascia di valutazione*;
- Concentrazione di odore al recettore maggiore di 5 OU_E/m^3 : *non accettabile oppure accettabile con prescrizioni e/o interventi atti a limitare la dispersione delle emissioni*.

Pertanto è fondamentale che nei centri abitati limitrofi all'impianto l'impatto simulato sia inferiore a 5 OU_E/m^3 .

Di norma un valore di emissione odorigena inferiore a 1 OU_E/m^3 si ritiene senz'altro accettabile e può essere considerato un ottimo risultato.

Tuttavia, deve segnarsi che per il campionamento, la quantificazione e la caratterizzazione di questa tipologia di emissioni non esistono, ad oggi, procedure standardizzate universalmente condivise.

Anche molti altri Paesi europei, quali Germania, Olanda, Svizzera e Austria, hanno adottato il criterio delle distanze di rispetto, emanando specifiche linee guida che tengono conto delle caratteristiche della fonte emissiva (numero dei capi, tipo di animale e caratteristiche del ricovero), ma anche di quelle del sito circostante (collocazione orografica dell'allevamento, venti prevalenti, condizioni di dispersione più frequenti) e delle modalità di fruizione del territorio (aree residenziali, a destinazione mista, rurali).

Una programmazione edilizia che eviti la collocazione di insediamenti zootecnici in vicinanza di aree residenziali, ma anche il progressivo avvicinamento delle aree residenziali agli allevamenti, resta comunque la più efficace misura per evitare che si producano situazioni conflittuali dovute alle molestie olfattive.

1.2.3 – Unità di misura degli odori

La concentrazione di una miscela gassosa analizzata con tecniche analitiche, è espressa in *massa/volume* ($\mu g/m^3$) o *moli/volume* o *ppm* e, non potendo essere determinata con riferimento all'intera miscela, è relativa alla quantificazione numerica delle singole sostanze che la compongono.

Con l'applicazione della tecnica sensoriale dell'olfattometria dinamica, la concentrazione di odore viene espressa in Unità Odorimetriche su metro cubo (OU/m^3). In particolare, secondo la norma tecnica *UNI EN 13725/2004*, si definisce *Unità Odorimetrica Europea* (OU_E) la quantità di odorante/i che, quando evaporata in 1 m^3 di gas neutro in condizioni normali, provoca una risposta fisiologica (*soglia di rivelazione*) da un gruppo di prova equivalente a quella provocata da una massa di odore di riferimento europeo (*EROM*), evaporata in 1 m^3 di gas neutro in condizioni normali.

Un *EROM*, evaporato in 1 m^3 di gas neutro in condizioni normali, è la massa di sostanza che provoca la risposta fisiologica *D50* (soglia di rivelazione), valutata da un gruppo di prova di esperti di odore in conformità alla presente norma e che ha, per definizione, una concentrazione di 1 OU_E/m^3 . Per l'*n-butanolo* un *EROM* è 123 μg . Evaporato in 1 m^3 di gas neutro, in condizioni normali, esso produce una concentrazione di 0,040 $\mu mol/mol$ (che equivale ad una frazione in volume di 40 parti per

miliardo). Esiste una relazione tra l' OU_E per l'odorante di riferimento e quello per ogni miscela di odoranti.

Tale relazione è definita solo a livello della risposta fisiologica $D50$, dove $1\text{ EROM} \equiv 123\ \mu\text{g } n\text{-butanolo} \equiv 1\text{ }OU_E$ per la miscela di odoranti. Tale collegamento costituisce la base della rintracciabilità delle unità di odore di ogni odorante a quella dell'odorante di riferimento. Esso esprime a tutti gli effetti le concentrazioni di odore in termini di "equivalenti in massa dell'*n-butano*". La concentrazione di odore può essere valutata solo a una concentrazione presentata di $1\text{ }OU_E/\text{m}^3$. Come di conseguenza, la concentrazione di odore è espressa come multiplo di un OU_E in 1 m^3 di gas neutro. La concentrazione di odore, in OU_E/m^3 , si può utilizzare nello stesso modo delle concentrazioni in massa (kg/m^3).

1.3 - MECCANISMO FISIOLOGICO DI PERCEZIONE DEGLI ODORI

Il meccanismo che porta alla percezione olfattiva ha origine nel naso, a livello dell'epitelio olfattivo, dove sono localizzate le cellule sensoriali responsabili dell'interazione con le molecole odorogene. La sensazione di odore si genera solo dopo che l'informazione portata dallo stimolo è stata trasmessa attraverso le vie nervose olfattive e "processata" dal cervello, che ne elabora la risposta, sia in termini cognitivi di riconoscimento e valutazione della sensazione, sia introducendo componenti emozionali ed istintive. Il naso rappresenta l'interfaccia diretta tra il sistema olfattivo centrale e l'ambiente esterno da cui riceve gli stimoli (Figura 2).

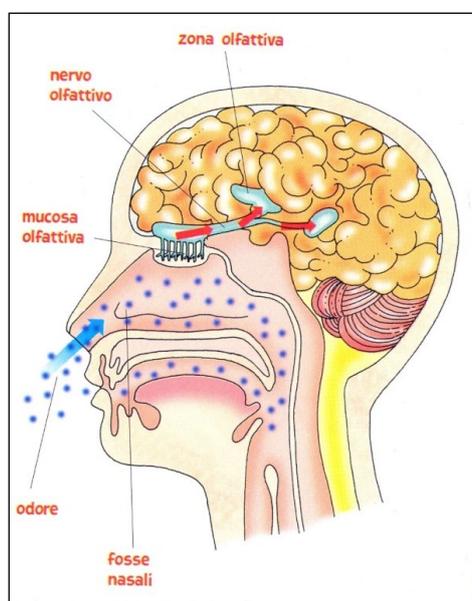


Figura 2: Sezione del cranio umano rappresentativa del meccanismo di percezione dell'odore (Prof.ssa Mazzanti Laura – UnivPM)

A tal proposito, riporto un recente studio dell'Istituto di Neuroscienze del Consiglio Nazionale delle Ricerche il quale ha chiarito il meccanismo molecolare della percezione degli odori, oggetto di oltre vent'anni di ricerche nell'ambito della medicina molecolare, basato sulla formazione di mappe

sensoriali cerebrali definite da una precisa disposizione spaziale dei neuroni olfattivi guidata dal recettore dell'odore.

Lo studio pubblicato su *"Cell Reports"* e condotto dal gruppo di lavoro dell'*Istituto di Neuroscienze del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Padova*, ha portato ad enormi passi in avanti relativamente alla definizione dei processi responsabili della codifica degli odori a livello cerebrale. La ricerca coordinata da Claudia Lodovichi (primo ricercatore del gruppo di lavoro del *Cnr-IN* di Padova), dimostra il meccanismo molecolare di formazione delle mappe topografiche cerebrali, dove i neuroni responsabili della percezione di un dato odore sono raggruppati in specifiche aree del bulbo olfattivo, la zona del cervello che elabora gli stimoli captati nel tessuto delle cavità nasali (epitelio olfattivo) attraverso i recettori olfattivi, proteine prodotte dagli stessi neuroni olfattivi che legano uno specifico odorante "intrappolato" nel muco nasale. Mentre i neuroni coinvolti nella vista e nell'udito sono disposti già a livello della retina e della coclea secondo un ordine che si proietta all'interno del cervello con la formazione di *"mappe topografiche"* dove i vari stimoli visivi e uditivi attivano aree diverse, i neuroni sensoriali olfattivi esprimono lo stesso recettore, specifico per un range di odori, e sono localizzati senza un particolare ordine nell'epitelio olfattivo, mescolati a neuroni che esprimono recettori diversi.

Tuttavia, un preciso ordine spaziale viene raggiunto nel bulbo olfattivo dove tutti i prolungamenti (*assoni*) dei neuroni presenti nelle cavità nasali che esprimono lo stesso recettore, convergono infatti in uno specifico punto (*glomerulo*) sul lato mediale e laterale di ciascun bulbo olfattivo, dando luogo alla mappa topografica olfattiva; ad ogni glomerulo è dunque associato uno specifico recettore olfattivo, in grado di captare un determinato spettro di odori. La mappa topografica è basata sull'identità del recettore olfattivo, che non solo rileva gli odori ma guida la formazione dei glomeruli stessi.

Il recettore olfattivo, presente nelle cavità nasali ma prodotto anche all'interno del cervello, nella porzione terminale dell'assone, viene attivato da alcune molecole espresse nel bulbo olfattivo per guidare l'aggregazione dei neuroni che esprimono lo stesso recettore nei glomeruli. Lo studio è riuscito ad identificare nel fattore fosfatidiletanolamina-1 (*PEBP1*), la proteina in grado di legare il recettore espresso dal terminale assonico.

Pochi ligandi espressi nel bulbo olfattivo sono pertanto in grado di attivare specifici gruppi di recettori olfattivi tra oltre mille recettori i quali, inoltre, cooperano con altre molecole nella formazione della mappa.

Il recettore olfattivo, pertanto, non definisce solo l'intervallo sensoriale di ciascun neurone, ma anche il suo bersaglio nel cervello: gli odori sono codificati da un pattern spaziale di glomeruli attivati, la cui posizione ha un ruolo cruciale nella codifica e quindi nella finale percezione degli odori.

"Questa scoperta, oltre che per la comprensione della fisiologia del sistema olfattivo, è rilevante anche perché contribuisce ad approfondire la conoscenza di un sistema che è coinvolto in molteplici patologie neurodegenerative, quali Parkinson e Alzheimer, i cui pazienti presentano deficit olfattivi"

anni prima dell'esordio delle alterazioni motorie e cognitive: capire i meccanismi di base che regolano il funzionamento del sistema olfattivo è fondamentale per qualsiasi ulteriore studio finalizzato a chiarire tali processi patologici" [Claudia Lodovichi – Cnr-IN di Padova].

1.3.1 – Anatomia del sistema olfattivo

Il sistema olfattivo può essere suddiviso in tre parti principali:

- EPITELIO OLFATTIVO: tessuto della cavità nasale dove sono presenti i recettori olfattivi;
- BULBO OLFATTIVO: struttura all'interno della scatola cranica in cui avviene la prima elaborazione del segnale olfattivo;
- CORTECCIA OLFATTIVA: struttura cerebrale che riceve i segnali del bulbo e li invia ai centri specializzati per elaborarli.

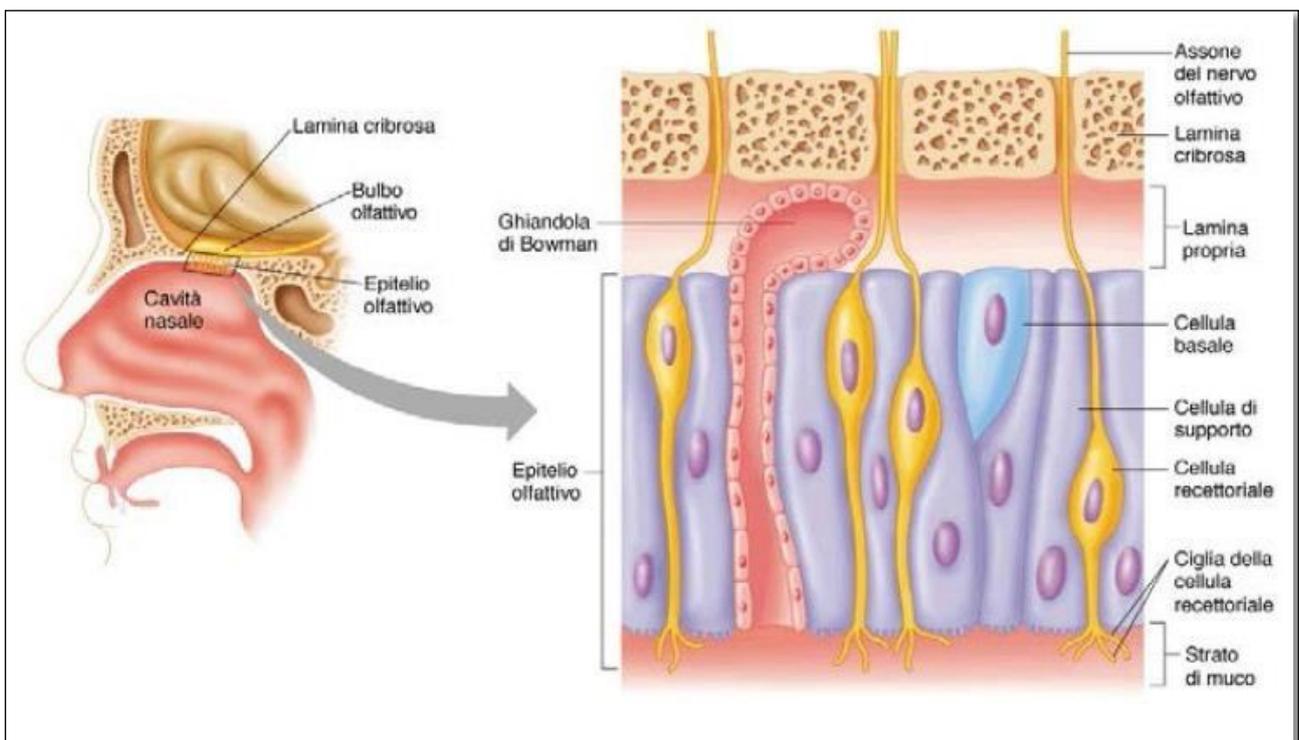


Figura 3: Epitelio Olfattivo (Lezioni di fisiologia sensoriale – Dott.ssa Melania Melis)

L'epitelio olfattivo riveste la regione apicale della mucosa nasale; le cellule recettrici dell'olfatto sono deputate alla trasduzione degli stimoli. I recettori olfattivi sono dei veri e propri neuroni con i loro assoni che penetrano direttamente nel sistema nervoso centrale. Le cellule di supporto sono simili a nevroglia proteggono i neuroni e coadiuvano la produzione del muco, mentre le cellule basali sono cellule staminali che si dividono dando origine a nuovi recettori olfattivi.

Tra i recettori e le cellule di supporto si trovano le *ghiandole di Bowman*, strutture secernenti lo strato di muco che protegge il tessuto sensoriale e facilita il legame tra la molecola odorifera e il recettore.

I Neuroni Olfattivi, rappresentati in figura 4, hanno un assone amielinico che proietta direttamente al sistema nervoso centrale (5-50 milioni) e sono lunghi e sottili che terminano sulla superficie dell'epitelio olfattivo con un rigonfiamento dotato di lunghe ciglia olfattive. Queste ciglia si addentrano nello strato di muco e possiedono i recettori olfattivi membranali a cui si legano le sostanze odorose in esso disciolte, attivando il meccanismo di trasduzione (ogni neurone olfattivo esprime solamente uno dei geni che codificano per i recettori olfattivi).

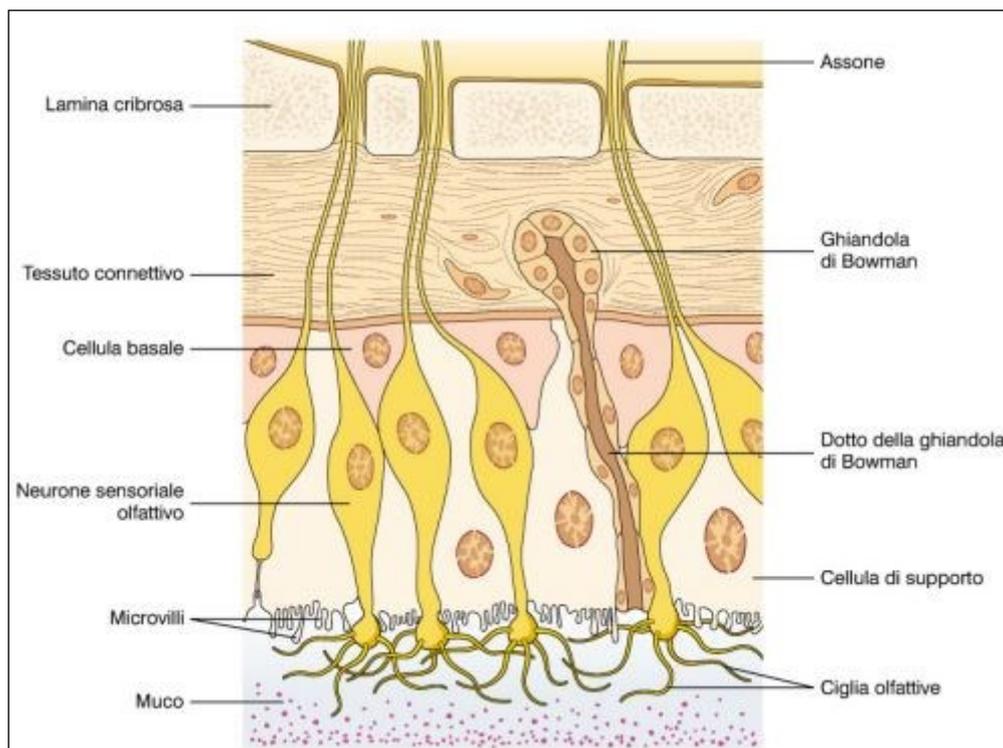


Figura 4: Struttura sensoriale olfattiva (D'Angelo e Peres. Fisiologia- molecole, cellule, sistemi)

I Recettori Olfattivi appartengono ad una superfamiglia di proteine che presentano sette domini trans-membrana ad alfa elica (potenziali siti di legame per le molecole odorose nel dominio extracellulare della proteina).

Tutte le proteine di questa superfamiglia sono accoppiate mediante la loro estremità carbossilica ad una proteina G-eterotrimerica, la cui sub unità alfa è specifica del sistema olfattivo.

Le molecole delle sostanze odorose si legano a specifici recettori presenti sulla loro superficie esterna. Il legame può avvenire direttamente oppure attraverso proteine presenti nel muco (dette proteine di legame delle sostanze odorose).

La trasduzione del segnale olfattivo avviene nell'epitelio olfattivo che comprende approssimativamente 50 milioni di recettori sensoriali, specificatamente all'estremità dei dendriti dei recettori olfattivi.

Gli assoni dei neuroni recettori dell'olfatto attraversano la lamina cribrosa dell'etmoide per giungere sino all'interno dei Bulbi Olfattivi dove, al loro interno, i neuroni olfattivi formano glomeruli sinaptici.

Il sistema olfattivo utilizza uno schema di codificazione recettoriale di tipo combinatorio per discriminare ed identificare le molecole odorose; un recettore può essere attivato da più molecole odorose perché ne riconosce porzioni strutturali diverse. In sintesi, una molecola odorosa può attivare più recettori in una combinazione unica.

Il riconoscimento di un odore dipende dal pattern di neuroni e, quindi, di glomeruli attivati. La teoria del pattern permette di spiegare come mai alcune molecole evocano odori differenti in relazione alla concentrazione della sostanza.

1.3.2 – Principali caratteristiche degli odori

Le principali caratteristiche degli odori sono le seguenti:

- Percettibilità o Soglia;
- Intensità;
- Diffusibilità;
- Tono Edonico;

❖ *Percettibilità*

L'odore è strettamente correlato alla presenza di diverse sostanze, alcune delle quali possono essere tossiche o nocive, se presenti in concentrazioni superiori ad un certo limite di soglia, potendo causare nell'organismo anche vari tipi di reazioni. Questi limiti sono definiti in base al tipo di stimolo suscitato dalla miscela odorosa nell'uomo. Si possono così distinguere diverse soglie legate alla percezione dell'odore:

- Soglia di percezione assoluta o di rilevabilità: è la concentrazione a cui corrisponde una rilevabilità certa dell'odore; corrisponde alla concentrazione minima che viene percepita dal 50% della popolazione esposta e viene indicata con la sigla *ATC* (*Absolute Threshold Concentration*) o con l'equivalente *OT* (*Odor Threshold*);
- Soglia di riconoscimento delle sostanze responsabili dell'odore: concentrazione a cui l'individuo è in grado, non solo di rilevare l'odore, ma anche di riconoscere le sostanze responsabili;
- Soglia di fastidio o di contestazione: è la concentrazione a cui un odore viene percepito come sgradevole.

Di per sé gli odori sgradevoli non vengono considerati patogeni, questa spiega perché l'argomento non presenta al giorno d'oggi una vasta letteratura. Tuttavia la presenza di cattivi odori altera l'equilibrio psicofisico della persona, producendo uno stato di malessere tale da condizionarne il comportamento.

Il primo effetto nocivo riscontrabile è collegato alla sensazione odorosa sgradevole che può provocare disturbi a livello gastrico, salivare, cutaneo; lo studio della tossicità comporta l'esame degli effetti in funzione della concentrazione.

Per gli ambienti di lavoro si fa usualmente riferimento al parametro *TLV* (*Threshold Limit Value*), esso indica la massima concentrazione a cui un lavoratore può essere esposto durante la vita lavorativa senza incorrere in effetti patogeni.

Nel caso delle sostanze odorose è utile confrontare il valore di soglia di percettibilità olfattiva *OT* con il *TLV*; le sostanze con rapporto inferiore a 1 verranno percepite all'olfatto prima di determinare i propri effetti tossici, viceversa le altre.

I limiti di soglia di tossicità sono utilizzabili nel caso di odore provocato da singole sostanze; nel caso di più sostanze presenti nella miscela, è necessario considerare gli effetti combinati piuttosto che quelli dei singoli componenti. A tal proposito viene definito il *RAT* (*Relative Atmospheric Toxicity*), dato dalla sommatoria dei rapporti fra la concentrazione della sostanza *i*-esima e il relativo *TLV*:

$$RAT = \sum (c / TLV)$$

Per atmosfera "sicura" è necessario avere $RAT \leq 1$.

❖ *Intensità*

L'intensità rappresenta la proprietà che esprime la forza della sensazione olfattiva; è una misura della grandezza della sensazione che lo stimolo genera ed è chiaramente dipendente dall'odorante e dall'individuo che lo avverte (*McGinley, 2002*).

Essa quindi porta un'informazione complementare rispetto alla concentrazione e, sebbene spesso i due parametri siano considerati sinonimi, tra di essi esiste una sostanziale differenza:

la concentrazione è una misura della quantità di odore presente nel mezzo gassoso, cioè della grandezza effettiva dello stimolo, qualunque sia la sua natura, mentre l'intensità è una misura della grandezza della sensazione che lo stimolo genera, essendo rilevato e interpretato dal sistema olfattivo, ed è chiaramente dipendente dall'odorante e dall'individuo che lo avverte (*Chen et al., 1999; Schulz et al., 2002*).

Nella percezione olfattiva il numero di molecole stimolanti è correlato alla loro concentrazione nell'aria respirata. Solitamente, tanto più elevata è la concentrazione dell'odorante, tanto più intensa è la sensazione che genera. Si può dire, quindi, che la concentrazione d'odorante "*C*" è la grandezza che controlla la forza dello stimolo olfattivo e che la forza della sensazione olfattiva "*I*"

dipende dalla forza dello stimolo. Infatti, sebbene concettualmente diverse, concentrazione ed intensità di odore sono grandezze correlate e tale dipendenza può essere descritta utilizzando funzioni matematiche; esse sono correlate tra loro non linearmente, ma su scala logaritmica del tipo $I = K \log C$.

A tal proposito, di seguito, vengono riportate due delle più note teorie matematiche a riguardo:

- *Weber-Fechner* $\rightarrow I = K \log (C/C_s)$ dove: C = concentrazione odorante [ou/m^3]
 C_s = concentrazione alla soglia di percezione [$1 \text{ ou}/\text{m}^3$]
 K = coefficiente di Weber-Fenchner

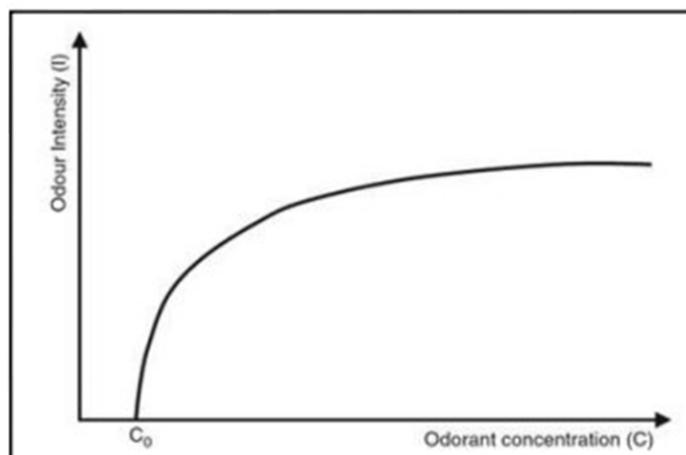


Figura 5: Correlazione tra intensità di odore in ordinata e concentrazione di odore in ascissa, secondo la modellazione di Weber-Fechner.

La figura 5 rappresenta l'andamento logaritmico della funzione $I-C$, evidenziando il fatto che, al di sotto della soglia di percezione (C_0), l'intensità rimane costantemente nulla. Riportando in un grafico i valori d'intensità di odore, valutati tramite test olfattometrici, rispetto alle concentrazioni dell'odorante (*concentrazioni rilevabili dal 50% del panel*), in scala logaritmica, si ottiene una retta tramite la quale si può valutare l'intensità dell'odore misurando la concentrazione sul posto (figura 6). La pendenza (K_w) di tale retta, rappresenta il rapporto fra le concentrazioni dell'odore a due successivi gradi d'intensità odorosa.

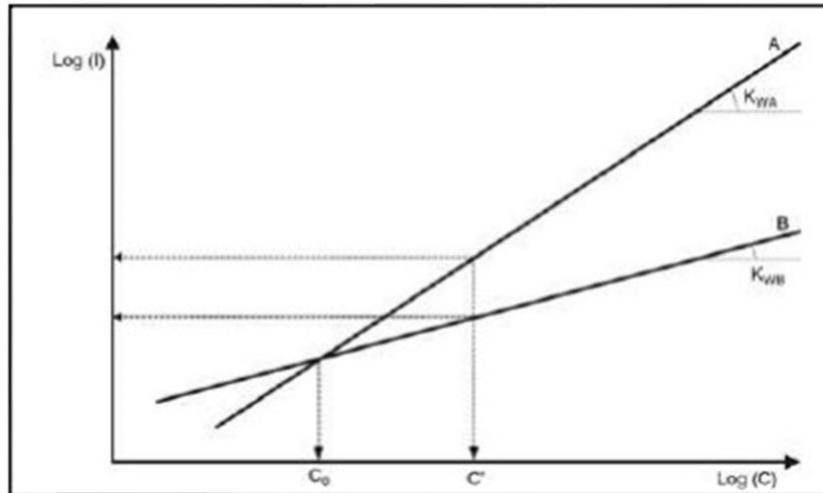


Figura 6: Andamento dell'intensità in funzione del logaritmo della concentrazione

Da questa rappresentazione è possibile dedurre come due sostanze diverse, aventi la medesima soglia olfattiva e presenti nell'aria a uguale concentrazione, possono provocare una sensazione odorosa molto differente. L'intensità dello stimolo, dunque, a pari concentrazione, aumenta al crescere del coefficiente di *Weber-Fechner*.

➤ *Stevens* $\rightarrow I = K_s (C - C_s)^n$ dove: K_s e n = coefficienti di *Stevens*

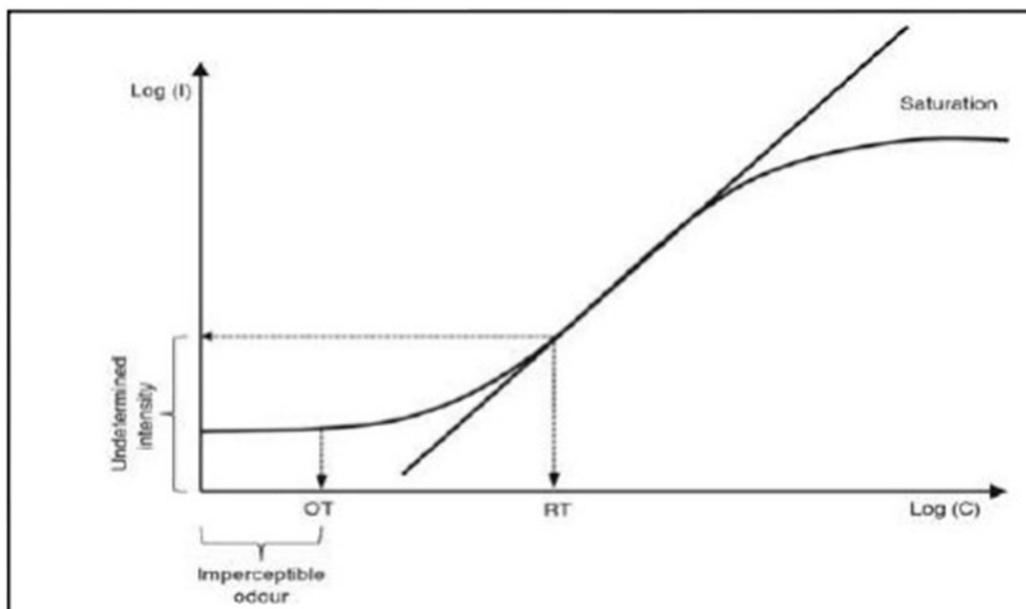


Figura 7: Correlazione in scala logaritmica tra intensità di odore in ordinata e concentrazione di odore in ascissa, secondo *Stevens*.

Esprimendo poi la legge di *Stevens* in forma logaritmica si ottiene la seguente funzione lineare:

$$\log(I) = n \log(C - C_0) + K_s$$

Generalmente l'intensità si determina per via olfattometrica, con modalità simili a quelle per la misura della concentrazione, ma presentando al panel concentrazioni dell'odorante superiori alla soglia di percezione. Il panel che partecipa a misure di intensità di odore (come anche di tono edonico) non è selezionato in modo da avere una risposta olfattiva standard, come avviene per le misure di concentrazione, ma è costituito da esperti di valutazioni sensoriali, "addestrati" a riconoscere e classificare gli stimoli olfattivi. Ad essi è richiesto di assegnare, ad ogni livello di diluizione del campione, un valore di intensità secondo una scala predefinita. L'utilizzo delle scale di categoria (a 4, 5, 6, 7, 11 o più livelli) sintetiche e facilmente riproducibili, consente di esprimere l'intensità di odore in termini quantitativi; ad ogni categoria corrisponde, infatti, un numero ed una breve descrizione della sensazione odorosa corrispondente a quel livello.

In genere si usano scale a 4 o 6 livelli, una scala esemplificativa è riportata in Tabella 1, un maggiore dettaglio nella classificazione porta ad una maggiore indecisione del panel. L'intensità misurata in questo modo viene espressa mediante un numero adimensionale corrispondente al livello della categoria assegnata al campione (*Chen et al., 1999*).

LIVELLO DI INTENSITÀ	DESCRIZIONE
0	Nessun odore
1	Odore appena avvertito (OT)
2	Odore debole ma riconoscibile
3	Odore chiaramente identificabile
4	Odore forte
5	Odore molto forte

Tabella 1: Scala di intensità odorosa a 6 livelli

❖ Diffusibilità

Un odore può essere rilevato solo quando una molecola gassosa si dissolve nella mucosa olfattiva e riesce a legarsi a un recettore. Tutte le sostanze in grado di produrre una sensazione odorosa devono pertanto essere in grado di emettere dei vapori.

Per questa ragione la volatilità dei composti, quantificabile in termini di tensione di vapore, è un parametro fondamentale nella stima della capacità di una sostanza di causare un odore. Un parametro indicativo della capacità di diffusione dell'odore di una singola sostanza è l'*Odor Index (O.I.)*, definito come il rapporto (adimensionale) tra la tensione di vapore della sostanza odorante, espressa in *ppm* (assumendo che 1 atmosfera corrisponda a 106 ppm), e la concentrazione minima percepibile dal 100% dei panel selezionati per l'analisi (*ppm*).

$$O.I. = P_{vap} / OT \ 100\%$$

L'Odor Index permette di superare l'apparente eccezione di quelle sostanze che, pur presentando una bassissima tensione di vapore, sono fortemente odorose e, viceversa, di quelle sostanze dotate di tensione di vapore sufficientemente elevata ma che non danno forti sensazioni di odore.

Sono considerati potenzialmente poco odorosi i composti con *O.I.* < 105, come alcani e alcuni chetoni, mentre composti solforati quali i mercaptani (es. isopropilmercaptano) possono raggiungere valori di *O.I.* di 109 (Ziemacki e Settimo, 2007).

In Tabella 2, sono riportati i valori di *O.I.* per alcune sostanze odorigene.

COMPOSTO	Pvap (KPa, 25°)	OT_{100%} (ppm)	O.I. (25°C)
2-ottanone	0,10	250	4
Etanolo	7,87	6000	13
Toluene	3,79	40	947
Acetone	30,8	300	1030
1-pentanololo	0,26	1	2590
Esano	20,2	64	3160
2-butanone	12,6	30	4200
Propene	1190	80	149000
Esanale	1,48	0,0094	1574500
Pentanale	4,58	0,02	2290000
Disolfuro di carbonio	48,2	0,21	2295000
1-esene	24,8	0,02	12400000
Dimetidisolfuro	3,82	0,0014	27280000
Dimetilsolfuro	64,4	0,0014	460000000
Metantiolo	202	0,0021	961900000
Iidrogeno solforato	2020	0,0047	4297870000

Tabella 2: Indice di odore di alcune sostanze odorigene (Lisovac e Shooter, 2003)

❖ Tono Edonico

Il tono edonico è la proprietà che lega un odore allo stimolo di gradevolezza o repulsione. È possibile attribuire un valore al grado di piacevolezza di uno stimolo odoroso fissando una scala arbitraria.

È il parametro direttamente responsabile del disturbo e della molestia olfattiva. Gli odori, però, non devono essere necessariamente spiacevoli per causare lamentele da parte di individui costantemente esposti (Ziemacki e Settimo, 2007). La fondamentale differenza tra l'intensità di odore e il tono edonico, entrambe grandezze che si riferiscono all'effetto provocato dallo stimolo odorigeno, consiste nel carattere maggiormente soggettivo dell'informazione contenuta nel tono edonico, che si riferisce esplicitamente al giudizio positivo o negativo sulla sensazione ricevuta.

La scala edonica più conosciuta si basa sul modello di H. Zwaardemaker che distingue nove classi:

1. Etereo (frutta)
2. Aromatico (chiodi di garofano)
3. Balsamico (fiori)
4. Ambrosio (muschio)
5. Agliaceo (cloro)
6. Empireumatico (caffè tostato)
7. Caprilico (formaggio)
8. Repellente (belladonna)
9. Fetido (corpi in decomposizione)

Un'altra classificazione è quella proposta da *Pelosi* che identifica otto odori primari, ossia quelle sostanze con una forma che ben si adatta al ricettore specifico, ma che interagisce poco con altri ricettori (Figura 8):

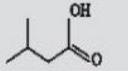
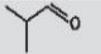
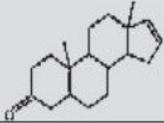
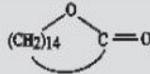
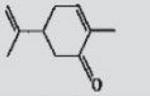
Odore	Odorante primario	Seglia normale (ppb)
Sudore		120
Sperma		20
Pesce	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	0.47
Maltato		1.8
Urina		0.18
Muschiato		1.8
Mentolato		43
Canfora		21

Figura 8: Odori Primari identificati da Pelosi

1.3.3 – Gruppi di composti odorosi

I composti odorosi possono essere raggruppati in diversi modi, ed in particolare:

- per famiglia
- per struttura
- per forma

La classificazione per famiglia riguarda i composti azotati, solforati, insaturi, ossigenati, alogenati o può anche avere la classificazione per gruppi funzionali come aldeido-CHO, carbonilico-CO, carbossilico-COOH, amminico-NH₂, idrossilico-OH, solfidrilico-SH (Figura 9).

Gruppo di composti	Composto	Sensazione olfattiva	Formula chimica
Composti solforati	Idrogeno solforato	Uova marce	H ₂ S
	Metilmercaptano	Cavolo in decomposizione	CH ₃ SH
	Etilmercaptano	Cavolo in decomposizione	CH ₃ CH ₂ SH
	Dimetilsolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃) ₂ S
	Dimetildisolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃) ₂ S ₂
	Dietilsolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃ CH ₂) ₂ S
	Solfuro di carbonio	Dolciastro, pungente	CS ₂
	Solfuro di difenile	Gomma bruciata	(C ₆ H ₅) ₂ S
Composti azotati	Ammoniaca	Pungente	NH ₃
	Metilammina	Pesce	CH ₃ NH ₂
	Dimetilammina	Pesce	(CH ₃) ₂ NH
	Trimetilammina	Pesce	(CH ₃) ₃ N
	Scatolo	Fecale nauseabondo	C ₉ H ₉ N
	Piridina	Disgustoso	C ₅ H ₅ N
	Indolo	Fecale nauseabondo	C ₈ H ₇ N
Acidi organici	Acetico	Aceto	CH ₃ COOH
	Butirrico	Burro rancido	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH
Aldeidi	Butirrica	Pungente, rancido	CH ₃ (CH ₂) ₂ CHO
	Isovalerianica	Mela	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO
	Acroleina	Pungente e penetrante	CH ₂ =CHCHO

Figura 9: Principali famiglie di composti osmogeni (Metodi di misura delle emissioni olfattive – APAT)

La classificazione per struttura, si caratterizza per semplici differenze strutturali che possono comportare cambiamenti qualitativi e quantitativi delle proprietà dell'odorante. Ad esempio le tre diverse forme dell'undecanone, 6,4 e 2 presentano odori differenti. Il composto 6-undecanone presenta un forte odore fruttato, il composto con l'ossigeno in posizione 2 odora di ruta (pianta medicamentosa), mentre il composto 4 ha un odore intermedio fra i due precedenti.

La classificazione per forma, messa a punto sia da *Amoore* che *Timmermans*, è caratterizzata dalle seguenti correlazioni tra forma della molecola e odore (Tabella 3):

FORMA	ODORE
Sferica	Canfora
Discoideale	Muschio
Romboidale	Fiori
Cuneo	Menta
Rettangolare	Etere

Tabella 3: Correlazioni tra la forma e l'odore di *Amoore* e *Timmermans*

1.4 – INTERAZIONI FISICHE E CHIMICHE

Il meccanismo di azione delle sostanze osmogene non è ancora del tutto noto; tuttavia a fronte di ricerche scientifiche, si ritiene concreta l'ipotesi per cui una sostanza riesce a provocare una sollecitazione sui recettori, a fronte di una interazione di origine fisica e di un'altra di matrice chimica.

Fisicamente si ipotizza che le molecole sono in continuo movimento con moti di tipo oscillatorio, rotazionale e vibrazionale producendo così radiazioni la cui lunghezza d'onda è caratteristica per ogni molecola. Si ritiene che tali radiazioni molecolari interagiscano con le strutture dell'epitelio olfattivo, ed esse stesse dipendono dal tipo di legame presente nella molecola, per cui, maggiore è l'ordine di legame tra gli atomi e minore è la lunghezza d'onda.

Chimicamente si ipotizza invece che, la causa principale della percezione di un odore è imputabile alla modificazione chimica che avviene fra sostanza e mucosa olfattiva. Gli elementi coinvolti in tale modificazione sono l'epitelio olfattivo e la sostanza osmogena, i quali in molti casi presentano una forma delle molecole complementare o simile e quindi sono in grado di adattarsi totalmente o parzialmente, secondo un meccanismo conosciuto come "*chiave-serratura*". Questa interazione e riconoscimento avviene secondo un codice combinatorio: ogni neurone olfattivo esprime un solo tipo di recettore che può però riconoscere una o più molecole con diversa affinità. Cioè alcune chiavi sono molto specifiche, mentre altre sono un po' più simili a dei *passapartout*. Ogni odore è composto quasi sempre da molte molecole diverse, e ognuna di esse si legherà a diversi recettori; dalla combinazione finale, un po' come un codice a barre, si avrà l'identità dell'odore; chi fa la decodifica del codice a barre è il cervello.

Questa teoria spiega come sostanze chimicamente diverse possano produrre odori simili, o viceversa, come sostanze chimicamente simili possano produrre odori diversi. È questo il caso per esempio degli isomeri *cis* e *trans* del 4-terz-butilcicloesilacetato, infatti, mentre l'isomero *cis* emana un forte odore di legno, nell'isomero *trans* questo è appena percepibile.

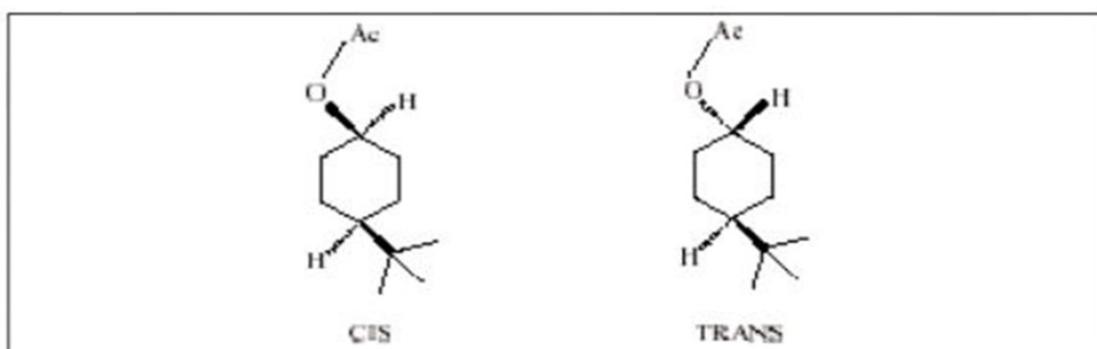


Figura 10: Isomeri *cis* e *trans* del 4-terz-butilcicloesilacetato

Sono stati effettuati molti studi tesi a correlare la stereochimica della molecola con l'odore. I principali parametri molecolari sono:

- La dimensione
- La forma
- La presenza e la posizione dei gruppi funzionali

La *dimensione* può essere valutata in prima approssimazione utilizzando due diversi parametri: il peso molecolare o il numero di atomi principali. La sostanza osmogena deve avere dimensione inferiore a 300 g/mole o 20 atomi principali, infatti molecole di dimensioni superiori sarebbero poco volatili e non troverebbero ricettori in grado di accoglierle.

La *forma* dipende principalmente dalla presenza e dalla posizione dei gruppi funzionali. La maggior parte delle molecole, a causa della libera rotazione attorno ai legami semplici, può presentare varie conformazioni per forma e ingombro.

Per i *gruppi funzionali* è importante ricordare che le proprietà olfattive non sono determinate tanto dalla natura del gruppo funzionale quanto dalla sua posizione nella molecola. Per quanto riguarda il tipo di legame che esiste tra la molecola di odorante e il ricettore olfattivo sono state formulate diverse ipotesi: legame a ponte idrogeno, legame dipolo-dipolo (nel caso in cui esista almeno un etero atomo sulla molecola di odorante), legame di Van der Waals (se è grande la complementarità tra ricettore e odorante). Nel caso particolare di idrocarburi privi di gruppi funzionali le forze di Van der Waals possono legare la molecola al ricettore, indipendentemente dall'orientamento. Per questo sono possibili interazioni con più ricettori, cosa che giustifica l'odore poco intenso e non definito.

Henning invece, già nel 1916 aveva anticipato la teoria chimica individuando alcune corrispondenze tra caratteristiche molecolari ed odore:

- *Spezie*: anello benzenico para-sostituito;
- *Ori*: anello benzenico orto-sostituito;
- *Frutta*: disposizione biforcata;
- *Resine*: strutture bicicliche con gruppi all'interno dell'anello;
- *Bruciato*: composti con anello piano;
- *Fetido*: composti con zolfo.

Oltre a quanto sopra specificato, è importante ricordare gli studi di *Moncrieff* che prevedono tre punti fondamentali secondo cui le sostanze odorose devono essere:

- Volatili in modo da poter essere facilmente liberate nell'atmosfera per venire a contatto con i recettori olfattivi;
- Capaci di essere assorbite dalla mucosa dell'epitelio olfattivo;
- Generalmente assenti dalla regione olfattiva;

Quest'ultimo punto rappresenta una novità rispetto alle teorie precedenti, poiché puntualizza che una situazione odorosa può essere causata solamente dal cambiamento di una situazione preesistente.

A seguito delle diverse caratteristiche strutturali implicite in molecole apparentemente anche molto simili, le soglie olfattive variano notevolmente da una sostanza all'altra. Infatti alcune sostanze non provocano la sensazione di odore nemmeno se presenti in concentrazione elevata, altre come i mercaptani hanno soglie dell'ordine dei *ppt* (parti per trilione) e vengono percepiti dall'olfatto quando la più raffinata strumentazione analitica non riesce ad identificarli. In base alle soglie olfattive è possibile ordinare le classi di composti odorigeni in ordine crescente di soglia olfattiva o OT (Odor Threshold):

- *Mercaptani insaturi;*
- *Mercaptani;*
- *Disolfuri;*
- *Solfuri;*
- *Aldeidi;*
- *Alcheni;*
- *Acidi Carbossilici;*
- *Ammine;*
- *Alcani Clorurati;*
- *Aromatici;*
- *Alcani.*

1.4.1 - Proprietà chimico-fisiche e percettibilità delle sostanze odorogene

Quasi tutte le molecole di peso molecolare inferiore a 300 g/mole (o 20 atomi principali) presentano un odore. Non esiste un limite inferiore, infatti anche molecole piccole come NH_3 o H_2S sono dei forti odoranti; la mancanza di odore di sostanze come acqua, azoto, anidride carbonica e poche altre è dovuta al fatto che l'epitelio olfattivo è continuamente in contatto con queste molecole (corrispondenza tra caratteristiche molecolari e odori secondo *Moncrieff*). Il limite superiore, grossolanamente fissato ad un peso molecolare di circa 300 g/mole, dipende non solo dal fatto che sostanze ad alto peso molecolare sono poco volatili, ma anche dell'effettiva mancanza di ricettori capaci di accogliere molecole di dimensioni maggiori.

A tal proposito si evidenzia una scomparsa dell'odore quando le molecole superano certe dimensioni: ad esempio i Carbonati con numero di atomi maggiore od uguale a 16 si caratterizzano per l'assenza totale di odore, così come i Chetoni con numero di atomi maggiore od uguale a 19.

1.4.2 - Proprietà che influenzano l'impatto odoroso di una sostanza

Le proprietà che influenzano l'impatto odoroso di una sostanza sono le seguenti:

Tensione di vapore: questo parametro è indice della volatilità della sostanza che a sua volta è indicatrice della facilità di diffondere e di venire a contatto con organi ricettori dell'olfatto. Esistono comunque eccezioni, ovvero sostanze che pur presentando bassissime tensioni di vapore sono fortemente odorose e sostanze dall'altissima tensione di vapore, ma dalla soglia olfattiva elevata.

Sostanza	Tensione di vapore (atm, 20°C)	OT (ppb)
Scatolo	0,002	0.01
Acido butirrico	0,75	1
Etilammina	1,14	200
Dimetilammina	1,66	46
Metilammina	2,92	20
Cloro	6,57	20 - 9.000
Ammoniaca	8,46	38 - 57.000
H ₂ S	17,7	0.5 - 10
Etano	37,28	120.000 (ppm)
Acetilene	43,11	620.000
Tetracloruro di carbonio	91,0	95.000
Acetone	184,8	13.000
Disolfuro di carbonio	297,5	110
Etere	442,2	8.900

Figura 11: Tensione di vapore e soglie olfattive per alcuni composti odorosi (Metodi di misura delle emissioni olfattive – APAT)

Idro e liposolubilità: una sostanza per essere recepita deve poter prima diffondersi adeguatamente nelle mucose nasali e poi nelle terminazioni delle cellule neurosensoriali.

Adsorbibilità: maggiore è tale grandezza, maggiore è la capacità della sostanza odorigena di legarsi alle ciglia dei chemiorecettori.

In linea generale i composti odorosi riscontrabili nell'ambiente possono essere raggruppati in queste grandi famiglie distinguibili per il loro gruppo funzionale:

- *Composti azotati*
- *Composti solforati*
- *Composti non saturi*
- *Composti ossigenati*
- *Composti alogenati*

I gruppi funzionali generalmente presenti possono essere riassunti nei seguenti:

- *Aldeidico (-CHO)*
- *Carbonilico (-C=O)*

- *Carbossilico (-COOH)*
- *Amminico (-NH₂)*
- *Idrossilico (-OH)*
- *Sulfidrilico (-SH)*

Se si fosse riusciti ad associare ad ogni gruppo funzionale una tipologia odorosa ben precisa, il problema della descrizione della qualità sarebbe stato di conseguenza determinato. La qualità odorosa non dipende solamente dal singolo gruppo funzionale, ma anche dal resto della molecola e dalle sue caratteristiche strutturali. Capita quindi che uno stesso gruppo come l'OH o l'SH in combinazione con radicali differenti producano odori differenti:

- C₂H₅OH (*alcol etilico*) – odore dolce;
- C₃H₅OH (*alcol allilico*) – irritante.

Inoltre, semplici differenze strutturali possono comportare odori differenti:

- C₂H₅SCN (*etil tiocianato*) – odore di cipolle;
- C₂H₅NCS (*etil isotiocianato*) – odore di mostarda.

Anche il doppio legame può influenzare significativamente la soglia di riconoscimento olfattivo.

1.4.3 – Fattori soggettivi e cognitivi/psicologici che influenzano la percezione degli odori

La percezione di un odore può essere descritta come gradevole o sgradevole, producendo, in entrambi i casi reazioni immediate. Un odore sgradevole, poiché spesso associato ad una situazione nociva o di pericolo, può attivare un meccanismo di protezione e difesa mentre, al contrario, un odore gradevole può generare un opposto meccanismo di attrazione ed avvicini manto. Tali reazioni, come noto, possono variare da individuo a individuo anche in considerazione dell'esistenza di componenti soggettive legate a fattori esperienziali e cognitivo - psicologici.

Tra i fattori che influenzano la percezione degli odori, si elencano quei meccanismi che dipendono direttamente da effetti soggettivi riconducibili ad esempio a disfunzioni olfattive come la *iposmia* e *anosmia* che consistono nella diminuzione e perdita totale della sensibilità verso uno o alcuni odoranti che possono essere transitorie o permanenti, poi vi è la *iperosmia* che è l'esaltazione della sensibilità degli odori e la *parosmia* che consiste nella percezione alterata/sbagliata di un odore reale. Altre alterazioni del senso dell'olfatto possono essere causate da malattie come ad esempio sinusiti, raffreddori, allergie o danneggiamenti dell'epitelio e delle fibre nervose in seguito ad infezioni o ad esposizioni tossiche.

Anche l'età e il sesso del recettore producono delle alterazioni della percezione dell'odore; in particolare all'aumentare dell'età diminuisce la sensibilità all'odore a causa della riduzione di neuro

genes. A partire dai 60 anni, negli individui recettori, diminuisce la capacità di percezione odorigena fino a ridursi drasticamente negli 80 anni di età.

Relativamente al sesso dell'individuo, generalmente le donne hanno una sensibilità maggiore all'odore rispetto agli uomini; questa maggiore sensibilità olfattiva femminile sembra essere correlata al ciclo ormonale, aumentando in gravidanza e diminuendo con la menopausa.

Relativamente al contesto cognitivo e psicologico dell'individuo, la percezione è influenzata dai tratti personali, dal contesto sociale, dalla storia delle esposizioni e dall'associazione con esperienze olfattive pregresse. Questi fattori rendono estremamente variabili e soggettivi gli effetti che gli odori producono su chi li percepisce e le relazioni tra le proprietà delle sostanze e le sensazioni generate.

1.4.4 – Fattori ambientali

Tra gli artefici dei meccanismi che influenzano la sensibilità olfattiva ma anche il grado di volatilizzazione degli odori, vi sono anche fattori ambientali come l'umidità e l'aria. In particolare un elevato valore di umidità relativa riduce la sensibilità olfattiva e, nel frattempo, accelera la volatilizzazione degli odori di parecchie sostanze. Si producono, dunque, due effetti antagonisti ma che intervengono con un peso differente; in pratica è riconosciuto che una riduzione dell'umidità relativa ha effetti positivi poiché la diminuzione conseguita nella produzione degli odori è più spiccata dell'aumento di sensibilità olfattiva che ne consegue. Per quanto riguarda le sostanze la cui produzione di odore è indipendente dall'umidità relativa, un aumento di umidità relativa diminuisce la sensibilità olfattoria e può quindi risultare benefico. Molti studi sembrano indicare che gli effetti combinati di campi elettrici ad alta tensione e alta frequenza, sulle molecole d'aria riducono la sensibilità olfattoria (Fanizzi et al., 2001).

1.4.5 - Principali famiglie di composti odorosi

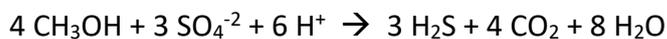
Le principali famiglie di composti odorosi rimangono comunque la classe dei *composti solforati*, gli *acidi grassi volatili*, le *ammine* e i *terpeni*.

Composti Solforati: sono i composti odorosi più adatti ad indicare la presenza di condizioni anaerobiche. Infatti, benché essi si formino anche in minima parte in condizioni aerobiche, in carenza di ossigeno la loro presenza è anche di tre ordini di grandezza maggiore.

Lo zolfo è contenuto principalmente negli aminoacidi *cisteina* e *metionina*; il contenuto di zolfo in scarti compostabili è dell'ordine dello 0,4% per scarti di cucina, 0,2% in carta e cartone, 0,1% nel legno e 0,56% nel letame.

- **Zolfo inorganico:** l'H₂S è prodotto in condizioni anaerobiche attraverso diverse vie. La produzione principale deriva dalla scissione di aminoacidi solforati come *metionina* e *cisteina*; molti batteri come *E. Coli*, possono metabolizzarli, producendo H₂S come sottoprodotto. Un'altra via semplice è la combinazione di carbonati e solfati.

Essendo è un indicatore di condizioni prettamente anaerobiche, pertanto in processi tipicamente aerobici, come ad esempio il compostaggio, si può ritrovare solamente quando si ha presenza di "sacche" anaerobiche nei cumuli oppure quando il materiale organico in ingresso in impianto è compattato e stoccato da più giorni. La generazione di H₂S è dovuta all'attività metabolica di alcuni batteri anaerobici in cui la specie *Desulfovibrio desulfuricans* è la più importante. Il metabolismo globale può essere descritto attraverso due semireazioni di ossidazione e riduzione; si ha da un lato la riduzione dei solfati a solfuri, che si comportano come accettori di elettroni, e dall'altro l'ossidazione di un substrato organico con spostamento dell'idrogeno che verrà accettato dalla specie ridotta. Se come substrato viene considerato il metanolo, la reazione complessiva prodotta da *Desulfovibrio* è la seguente:



- **Zolfo organico:** i più comuni composti solforati organici odorosi che si riscontrano in impianti sono essenzialmente il *dimetil solfuro*, *dimetil disolfuro*, *dimetil trisolfuro*, *metantiolo* ed *etantiolo*. Il *metantiolo* è un potente odorante, molto instabile che in condizioni aerobiche subisce una rapida ossidazione a *dimetil disolfuro*. I mercaptani, d'altronde, si riscontrano nelle emissioni solo quando si hanno condizioni anaerobiche spinte in alcune zone del processo; altrimenti vengono ossidati a *dimetil disolfuro*.

Acidi grassi volatili: gli acidi grassi a catena corta (C2 – C6) come l'acetico, il butirrico e l'esanoico hanno, soprattutto per quelli da 4 a 7 atomi di carbonio, una soglia olfattiva molto bassa, dell'ordine di qualche *ppb*, che si configura con un tipico odore di rancido. Anch'essi sono intermedi metabolici derivanti dall'incompleta ossidazione dei lipidi, che in condizioni di carenza di ossigeno non permette la completa ossidazione a CO₂; quando l'ossigeno non è totalmente assente, ma scende sotto un certo livello, sono energicamente favoriti dei processi fermentativi che vedono questi composti organici come accettori di elettroni al posto dell'ossigeno.

Gli acidi organici volatili, in condizioni aerobiche, vengono rapidamente metabolizzati ed è pertanto rara la loro presenza in uscita da impianti di abbattimento come biofiltri o scrubbers.

Ammine e ammoniaca: questi sono un altro gruppo di composti maleodoranti che risultano dalla scissione degli aminoacidi in condizioni anaerobiche da parte di numerosi batteri tra cui il comune *E. Coli*. Le ammine si formano generalmente a valori di pH bassi durante le fermentazioni anaerobiche. I rifiuti di cucina possono contenere circa il 3% di azoto sul secco, letame e fanghi fino al 5-6%. Un indice di controllo della possibile generazione eccessiva di ammine molto odorose è il rapporto C/N che esprime il rapporto tra il carbonio organico espresso in % e l'azoto totale espresso

anch'esso in %; è pertanto opportuno un corretto bilanciamento tra scarti carboniosi ed azotati nella miscela iniziale. Un valore ottimale di C/N è pari a 30.

Terpeni: l'isoprene, precursore di tutti i terpeni, nel mondo animale è un prodotto endogeno del metabolismo, e la sua biosintesi deriva principalmente dall'acido mevalonico. Abbondanti fonti di terpeni come *limonene* ed *alpha-pinene* sono negli oli essenziali contenuti nelle ligneo-cellulose e nei tessuti stessi dei vegetali.

Di seguito in tabella 1 sono riportate le soglie olfattive e i *Theshold Limit Value* (TLV) di alcuni composti sopra menzionati.

	<i>Sensazione odorosa</i>	<i>100% Odor Threshold</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	<i>Threshold Limit Value</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<i>Solforati</i>			
Idrogeno Solforato	uova marce	1,4	14.000
Dimetilsolfuro	legumi in decomposizione	258	-
Dimetildisolfuro	putridume	16	-
Metilmercaptano	cavolo marcio	70	1.000
<i>Acido</i>			
Acetico	aceto	4.980	25.000
Propionico	rancido, pungente	123	30.000
Butirrico	burro rancido	73	-
<i>Ammine</i>			
Metilammina	pesce avariato	3.867	12.000
Dimetilammina	pesce avariato	9.800	24.000
Etilammina	ammoniacale	1.497	18.000
Ammoniaca	pungente	38.885	18.000
<i>Aldeidi</i>			
formaldeide	paglia/fieno pungente	1.247	370

Tabella 4: soglie olfattive e TLV per una serie di composti odorigeni (APAT)

1.5 – LA VALUTAZIONE DELLE MOLESTIE OLFATTIVE

Il concetto di molestia olfattiva è legato agli effetti negativi prodotti a seguito dell'esposizione ad un odore per un periodo prolungato e ripetuto nel tempo (Brancher, 2017).

Tutti gli odori, infatti, indipendentemente dal loro grado di piacevolezza, sono potenzialmente capaci di generare molestia in virtù di fattori determinanti quali la durata e la frequenza di esposizione, nonché intensità e contesto nel quale viene avvertito l'odore. Infatti, non è raro che anche un odore piuttosto gradevole possa essere percepito da un soggetto come molesto, se frequente e ad alta concentrazione. Si rileva, altresì, che l'esposizione ad un odore indesiderato per periodi prolungati può significativamente influenzare il benessere degli individui, generando sintomi a livello psico-fisico, quali stati d'ansia, mal di testa, irritazioni agli occhi, problemi respiratori,

nausea, etc. (Shiffman, 1998; Sucker, 2008; Aatamila, 2011), ed interferire sulle attività economiche come attività commerciali e turistiche, con effetti evidenti anche sul contesto sociale, in termini di impoverimento della qualità dell'ambiente, svalutazione dei beni e perdita del loro normale uso, nonché incertezza sulla percezione della sicurezza (Nicell, 2009).

Pertanto la registrazione di effetti negativi come il fastidio, la molestia e la lamentela presuppone che siano determinati una sorgente emissiva per mezzo della quale l'odore viene introdotto in atmosfera, un percorso attraverso cui l'odore si disperde in atmosfera esternamente alla sorgente e la presenza di recettori. È importante, a tal proposito, puntualizzare che qualunque fattore aumenti la diluizione e la dispersione del pennacchio odorigeno dalla sorgente al recettore, contribuirà a ridurre la concentrazione al recettore stesso, così come l'incremento della lunghezza del percorso, aumenterà l'effetto di diluizione e la dispersione.

Alla definizione di molestia olfattiva, concorrono diversi fattori relazionati tra loro; in letteratura questi fattori sono raggruppati dal parametro *FIDOL*, acronimo di *Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness, Location* (Watts, 1995; Freeman, 2002), descritti nella tabella seguente:

Frequency	Numero di volte in cui un odore viene percepito in un intervallo di tempo
Intensity	Indica la forza dell'intensità dell'odore
Duration	Indica la durata dell'evento odoroso
Offensiveness	Indica la natura dell'odore in riferimento al suo tono edonico
Location	Indica l'uso del suolo e la natura delle attività umana in prossimità della sorgente.

Tabella 5: fattori FIDOL

Le informazioni relative al parametro FIDOL trovano applicazione negli studi di Valutazione di Impatto e sono considerati criteri da disciplinare nell'ambito di alcuni provvedimenti normativi redatti in ambito internazionale (Nicell, 2009).

In figura 12, di seguito, è mostrato sinteticamente come i diversi elementi possono concorrere alla determinazione della molestia olfattiva, a partire dal processo di formazione degli odoranti. Il termine molestia viene comunemente riferito all'effetto cumulativo prodotto da ripetuti eventi di disturbo in un lungo periodo di tempo, che genera un comportamento modificato o alterato nel recettore umano.

Il disturbo, invece, fa riferimento al complesso delle reazioni umane che si verifica in seguito ad un'esposizione immediata ad un fattore di stress ambientale (odore) che porta ad una valutazione cognitiva negativa.

Il meccanismo che porta da un'emissione di odoranti in atmosfera alla determinazione della molestia olfattiva risulta di difficile determinazione, ma si possono descrivere i seguenti fattori principali (Van Harreveld, 2001):

- Caratteristiche dell'odore: rilevabilità, intensità, tono edonico;

- Diluizione in atmosfera: turbolenza o stabilità atmosferica, direzione del vento, velocità del vento;
- Esposizione dei recettori: ubicazione, tempo trascorso all'aperto;
- Contesto della percezione: presenza di odori di fondo, situazione ambientale;
- Caratteristiche del recettore: storia dell'esposizione, fattori psicologici, modalità di reazione, percezione dei rischi per la salute;

1.5.1 – Sindrome NIMBY e BANANA

L'opinione pubblica è sempre più portata ad associare a qualunque installazione industriale o sanitaria, soprattutto legata allo smaltimento dei rifiuti solidi o liquidi e alle strutture di allevamento intensivo, emissioni sgradevoli o maleodoranti e a rifiutarle prescindendo dal reale impatto.

Si tratta delle sindromi *NIMBY* (*Not In My Back Yard* – “non nel mio giardino”) e *BANANA* (*Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything* – “non costruire assolutamente nulla in alcun luogo vicino a qualunque cosa”) che, sempre più frequentemente, sono riportate agli onori delle cronache.

La prima sindrome *NIMBY* indica un atteggiamento che si riscontra nelle proteste contro opere che hanno, o si teme possano avere, effetti negativi sui territori in cui verranno costruite, come ad esempio grandi vie di comunicazione, cave, sviluppi insediativi o industriali, termovalorizzatori, discariche, centrali elettriche e simili. L'atteggiamento consiste nel riconoscere come necessari, o comunque possibili, gli oggetti del contendere ma, contemporaneamente, nel non volerli nel proprio territorio a causa delle eventuali controindicazioni sull'ambiente locale.

La sindrome *BANANA*, invece, indica un atteggiamento di opposizione a qualsiasi opera pubblica, a prescindere dagli effetti negativi che la stessa possa avere. Mentre nei decenni precedenti, la realizzazione di grandi impianti industriali e di estese reti infrastrutturali, era giudicata come indispensabile per il raggiungimento del benessere economico di ogni singolo Paese, e i fenomeni di degrado ambientale erano da considerarsi come lo scotto da pagare, necessario ed accettabile; agli inizi degli anni settanta cominciarono a farsi spazio dubbi sulla correttezza di una crescita economica indiscriminata. Il maggior grado di istruzione e di informazione, la sensibilità e l'attenzione verso le tematiche ambientali, la grande disponibilità di informazioni, il clima di sfiducia nei confronti dei governi locali e delle attività industriali, la possibilità di ricorrere alle azioni legali, hanno portato, alla diffusione dei fenomeni *NIMBY* e *BANANA* in tutti i Paesi industrializzati.

Oggi, anche strutture che si ritengono necessarie allo sviluppo sostenibile del territorio, che riducono gli impatti ambientali dovuti agli stili di vita della nostra società, incontrano opposizioni locali basate su eventuali o ipotetici rischi per l'ambiente e la salute; le sindromi sopra specificate sono ormai da anni indirizzate anche contro il mondo degli allevamenti intensivi di bestiame.

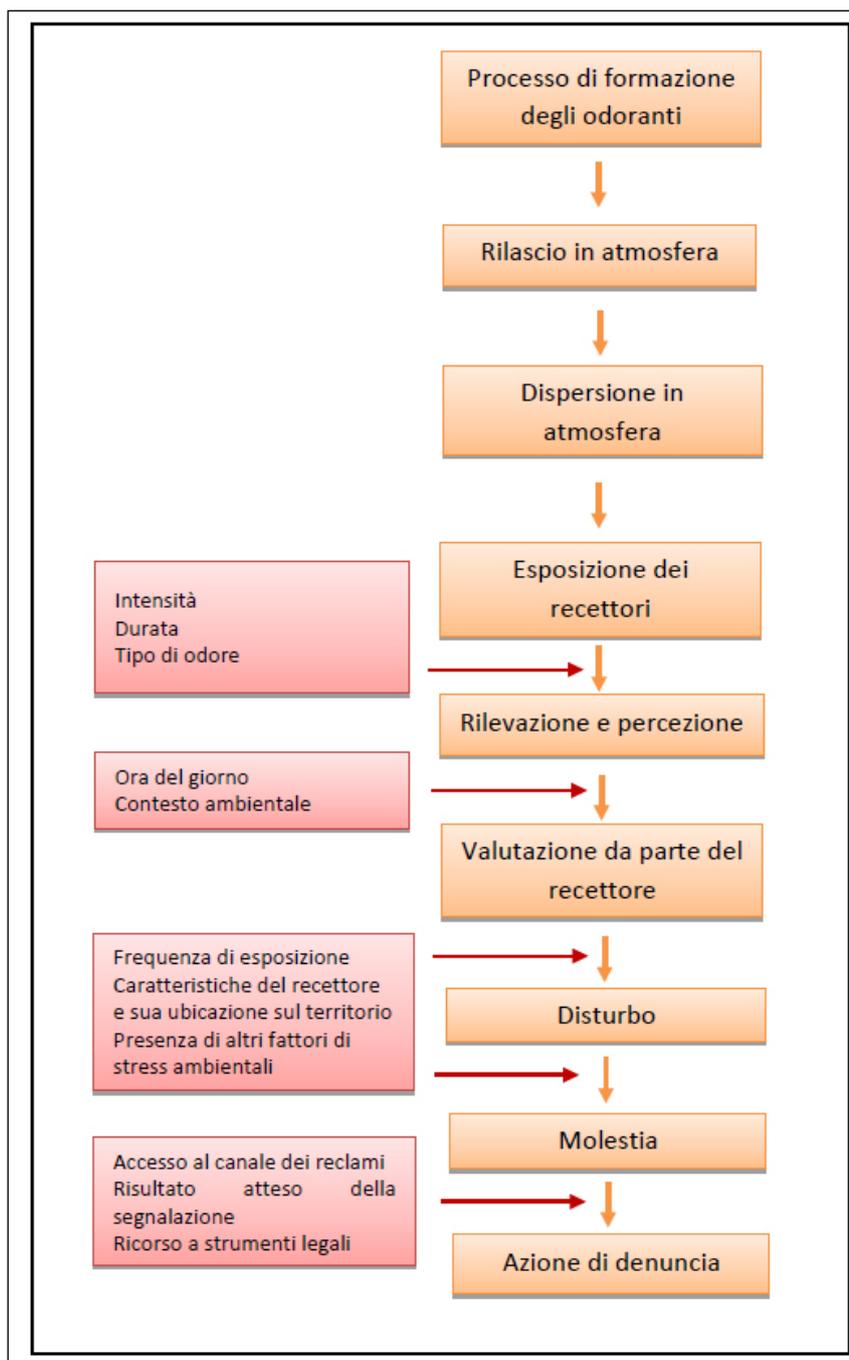


Figura 12: Rappresentazione schematica della determinazione della molestia olfattiva partendo dal processo di formazione fino all'azione di denuncia a causa della molestia olfattiva

1.5.2 - I composti odorigeni negli allevamenti

Gli allevamenti zootecnici sono un'indubbia fonte di molestie olfattive, derivanti principalmente da miscele di numerose sostanze che derivano principalmente dalla degradazione delle deiezioni, ma anche dai mangimi e dalla cute degli animali. Tra le famiglie principali, si sottolinea una maggiore

presenza e quindi incisività in termini di effetti negativi sulla salute dell'uomo, da parte di quattro classi principali, quali:

- Acidi grassi volatili (ad esempio acido acetico, propionico, butirrico);
- Composti dell'azoto (ammoniaca e ammine volatili);
- Composti dello zolfo (Idrogeno Solforato, Dimetil Solfuro, Mercaptani);
- Composti aromatici (Indolo, Scatolo, Fenolo e p-cresolo);
- Aldeidi (Formaldeide, Acetaldeide, Butanale).

1.5.2.1 - Effetti tossici riconosciuti dei principali composti odorigeni

Idrogeno solforato

L'emissione di H_2S nell'ambito della zootecnia è legata ai processi di decomposizione di materiale organico, in particolare componenti proteici (aminoacidi) contenenti zolfo in condizioni di anaerobiosi, e alla riduzione del solfato da parte di gruppi batterici specializzati (Arogo et al, 2000).

L'idrogeno solforato è un gas incolore, più pesante dell'aria, molto solubile in acqua, dal tipico odore di uova marce. Le attività che tipicamente producono concentrazioni percepite dall'olfatto umano sono le cartiere, la raffinazione del petrolio, la produzione animale, la lavorazione di alcuni prodotti alimentari; l' H_2S è ampiamente rappresentato nelle zone con attività geotermica.

Questo gas incolore, è il più studiato tra i composti solforati, infatti la relazione tra concentrazione ed effetti porta a delle evidenze molto "interessanti". Possiamo dire che, gli effetti nocivi provocati da questo composto passano da poco gravi a molto gravi, in relazione alla sua concentrazione nell'ambiente. Precisamente passiamo da una semplice irritazione degli occhi quando l' H_2S si trova ad una concentrazione ambientale di 10 ppm, ad una immediata perdita di coscienza, apnea e morte quando esso si trova ad una concentrazione ambientale pari a 1000/2000 ppm.

Infatti, a basse concentrazioni questo composto è individuabile grazie al tipico odore di uova marce mentre a concentrazioni elevate, maggiori di 700 ppm, dà origine ad un odore quasi gradevole, tanto da renderlo impercettibile a causa di questa sua mancanza di "avvertimento odoroso"; proprio quest'ultimo aspetto, evidentemente abietto, ha causato molti gravi incidenti tra i lavoratori addetti alle canalizzazioni fognarie o nell'industria petrolifera.

Effetto osservato	Concentrazione ambientale (ppm)
Irritazione agli occhi	10
Irritazione alle vie aeree	20
Modesti sintomi dopo diverse ore di esposizione	70 - 150
Massima concentrazione senza gravi sintomi dopo 1 ora	170 - 300
Edema polmonare - broncopolmonite dopo esposizione prolungata	250 - 600
Gravi sintomi dopo esposizione di 1/2-1 ora	400 - 700
Perdita di coscienza e coma	700 - 900
Immediata perdita di coscienza, apnea, morte	1.000 - 2000

Figura 13: Effetti tossici per l'H₂S (fonte APAT)

I valori di idrogeno solforato tipicamente riscontrabili nell'atmosfera, sono inferiori a 1 ppb (1,5 µg/m³). Metà della popolazione è capace di avvertire l'H₂S già a concentrazioni di 8 ppb (12 µg/m³) ed il 90% riconosce il suo tipico odore a 50 ppb (150 µg/m³) (Cauzillo et al., 2010).

La presenza di idrogeno solforato nell'azienda agricola è in genere legata allo stoccaggio dei reflui, nonché alle strutture di ricovero degli animali, soprattutto nell'allevamento suino ed in condizioni di scarsa ventilazione; in tal caso l'inquinante può raggiungere valori di circa 5 ppb (7,5 mg/m³).

La soglia accettabile per la protezione della salute negli ambienti di lavoro è indicata, ad esempio, dall'Agenzia USA OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) e fissata a 10 ppm (15mg/m³). Per quanto riguarda invece l'aria ambiente, l'Organizzazione Mondiale della Sanità propone tre soglie di riferimento (*WHO Guide lines ed. 2000*):

- 150 µg/m³ quale media su 24 ore;
- 100 µg/m³ per periodi di durata compresa tra 1 e 14 giorni;
- 20 µg/m³ per periodi di durata fino a 90 giorni;

La Normativa Nazionale fissa con il D.P.R. n. 322 del 15/04/1971 (abrogato dalla Legge 4 aprile 2012, n. 35) due limiti per le immissioni di H₂S all'esterno dei perimetri industriali:

- 100 µg/m³ per intervalli di 30 minuti;
- 40 µg/m³ per un tempo di mediazione di 24 ore;

In ambito zootecnico la presenza di H₂S è in genere ben correlata con la problematica dell'odore prodotto dall'allevamento animale. La concentrazione di idrogeno solforato presso gli impianti di produzione animale, è strettamente correlata con la specie animale, il numero di capi e la gestione dei reflui (Ni et al., 2002). Si stima che a parità di peso vivo ed altre condizioni, le emissioni di H₂S siano massime nell'allevamento suino (in particolare per le fasi di riproduzione), seguono poi l'allevamento di bovini e poi quello avicolo (Atia et al., 2010).

Mercaptani

Derivano dalla degradazione delle proteine, che porta alla formazione di amminoacidi solforati o dalla reazione dell'idrogeno solforato con alcuni chetoni insaturi. Tra gli effetti nocivi causati dai mercaptani, abbiamo l'interferenza con l'emoglobina del sangue provocando così cianosi; causano inoltre gravi irritazioni all'apparato respiratorio con edema polmonare.

Ammoniaca

L'ammoniaca (NH_3) riveste molta importanza tra i composti azotati, poiché grazie al suo odore pungente è ben riconoscibile; l'inalazione di questo gas è fortemente irritante per i bronchi e i polmoni tanto che, a seguito di una esposizione protratta nel tempo, anche a basse concentrazioni causa bronchiti croniche ed enfisemi. Questo è un gas prodotto dalla scissione delle molecole di urea da parte dell'enzima ureasi; risulta essere nocivo anche per gli animali, causando loro forti irritazioni alle mucose e alle vie respiratorie.

La Normativa Nazionale ed Europea non stabilisce valori limite o standard da rispettare per le concentrazioni in aria ambiente di NH_3 . Le Linee Guida WHO (Air Quality Guidelines for Europe – Second Edition, 2000) stabiliscono il livello critico per l'ambiente per i composti azotati. I livelli critici sono basati su un'indagine di evidenze scientifiche pubblicate di effetti fisiologici ed ecologicamente importanti solo sulle piante, in particolare acidificazione ed eutrofizzazione. Il livello critico fissato per l'ammoniaca è di $270 \mu g/m^3$ come media giornaliera. Non sono invece riportati riferimenti a valori limite per la protezione della salute umana per l' NH_3 , mentre sono fissate le soglie di esposizione professionale (TLV-TWA pari a $17 mg/m^3$ e TLVSTEL pari a $24 mg/m^3$).

<i>ppm</i>	<i>Effetti</i>
10	Deterioramento cigli epitelio polmonare
20	Aumento casi di aerosacculite
>20	Aumento bronchiti
23-25	Minore crescita corporea
>30	Minore appetito
>50	Cheratocongiuntivite, malattie respiratorie
>70	Minore produzione
100	Aumento casi di cecità
200	Aumento mortalità

Tabella 6: Effetti dell'ammoniaca sugli esseri umani relativamente al tasso di concentrazione espresso in ppm (fonte APAT - Metodi di misura delle emissioni olfattive)

Ammine

Le ammine, anch'esse facenti parte dei composti azotati come l'ammoniaca, producono effetti irritanti per le mucose delle prime vie aeree, ma non sono da sottovalutare né le possibili irritazioni agli occhi con conseguenti danni corneali, né soprattutto i danni epatici la cui caratterizzazione è tuttavia ancora allo studio.

Chetoni

Gli effetti nocivi dei chetoni possono essere rappresentati da reazioni irritanti ed effetti narcotici; il primo, quello irritante, soprattutto a carico degli occhi e della mucosa nasale, la cui tollerabilità e gravità dipende dal tipo di chetone: gli insaturi, infatti, sono in grado di provocare lesioni corneali con alterazioni anche permanenti alla vista, se presenti intorno ai valori di TLV. Il secondo effetto, quello narcotico, può causare danni al sistema nervoso centrale e periferico, qualora i chetoni vengono inalati a più elevate concentrazioni. Tali conseguenze sono causate dai vapori dei chetoni saturi.

Aldeidi

Il primo effetto nocivo delle aldeidi è rappresentato dall'azione irritante sulle congiuntive e sulle mucose delle vie aeree, mentre solo aldeidi insaturi e con sostituenti alogenati possono provocare gravi alterazioni sempre a carico dell'apparato respiratorio. Da segnalare sono i risultati di studi sperimentali che hanno evidenziato i danni a livello epatico provocati da esposizione ad acroleina o formaldeide.

Terpeni

I terpeni sono i composti più abbondanti in impianti che trattano rifiuti freschi. Dall'odore tipicamente gradevole o fruttato come il D-Limonene, non sono classificabili come cancerogeni, anzi, in letteratura si riporta l'attività antitumorale di alcuni monoterpeni.

Composti odorigeni	Effetto nocivo
<i>Ammoniaca</i>	Bronchite cronica, enfisema
<i>Ammine</i>	Irritanti delle vie aeree superiori
<i>Aldeidi</i>	Irritanti degli occhi e della mucosa nasale
<i>Chetoni</i>	Irritanti degli occhi e della mucosa nasale
<i>Formaldeide, Acroleina</i>	Danni a livello epatico
<i>Mercaptani</i>	Interferiscono con l'emoglobina provocando cianosi; Deprimono il sistema nervoso centrale
<i>Acido Solfidrico</i>	Gravi irritazioni all'apparato respiratorio con edema polmonare

Tabella 7: Principali classi di sostanze odorigene e i loro effetti sulla salute umana (fonte APAT - Metodi di misura delle emissioni olfattive)

1.5.3 – Emissioni odorigene negli allevamenti zootecnici

I composti osmogeni negli allevamenti zootecnici, sono il risultato di una decomposizione batterica. Le emissioni di odori e di altri gas potenzialmente tossici ed inquinanti negli allevamenti derivano sia dal metabolismo animale, che dai processi di degradazione biologica delle sostanze organiche contenute nelle deiezioni. Più precisamente, la complessa miscela di composti odorigeni emessi può variare a seconda della tipologia di animali allevata e, come detto, proviene prioritariamente dalla

decomposizione microbica dei mangimi nel tratto intestinale degli animali e dalla degradazione microbica di composti urinari e fecali nel letame in condizioni anaerobiche.

Le sostanze osmogene che danno luogo agli odori prodotti dagli allevamenti zootecnici appartengono a diverse classi di composti chimici ed in particolare ricordiamo gli acidi grassi volatili, composti dell'azoto come l'ammoniaca e l'ammina, i composti dello zolfo organici e inorganici come l'idrogeno solforato, il dimetil-solfuro e i mercaptani, i composti aromatici come l'indolo, il fenolo e lo scatolo, le aldeidi come la formaldeide e il butanale. La concentrazione che viene rilevata nell'aria è, per la maggior parte dei casi, dell'ordine dei $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con l'esclusione dell'ammoniaca per la quale le concentrazioni sono più importanti e sono dell'ordine delle unità o delle decine di mg/m^3 .

Le fasi emissive nella produzione zootecnica sono connesse ai vari stadi e alle diverse strutture di allevamento ossia, il ricovero degli animali, lo stoccaggio delle deiezioni, lo spandimento delle deiezioni sul suolo. I parametri che possono influenzare la produzione di odori sgradevoli nei locali di allevamento sono riconducibili alle modalità di stabulazione, al tipo di pavimentazione, alla modalità e frequenza di allontanamento delle deiezioni, alla densità degli animali presenti che, se eccessiva, può indurre gli animali al non rispetto delle aree funzionali, alle modalità e regimi di ventilazione, alle condizioni termo igrometriche. Come per i ricoveri le emissioni di odori dagli stoccaggi sono fortemente influenzate dalle condizioni stagionali. L'applicazione sul suolo dei reflui zootecnici è l'attività che più frequentemente può dar luogo a molestie olfattive, generalmente le più intense emissioni di odore avvengono nella fase di spandimento, ma possono durare a livelli ancora fastidiosi anche per altre 8-12 ore nella successiva fase in cui il liquame rimane sul terreno.

1.5.3.1 – I meccanismi che portano alla formazione di NH_3 e H_2S in allevamento

Il meccanismo primario di formazione dell'ammoniaca è l'idrolisi dell'urea (urinaria) catalizzata dall'enzima ureasi, prodotto da batteri, funghi, piante ed alcuni invertebrati. I ruminanti, come tutti i mammiferi, convertono l'eccesso di azoto metabolico in urea che viene poi escreta principalmente attraverso l'urina.

L'urina è quindi la fonte principale di urea (la base per la formazione dell'ammoniaca) ma contiene una scarsissima popolazione batterica responsabile della produzione dell'enzima ureasi. Nelle feci, invece, si ritrovano quantitativi molto modesti di azoto nella forma ureica ma una popolazione batterica importante. Nel contesto di un allevamento di bovini, ad esempio, la produzione di ammoniaca avviene quando l'urina ricca di urea, entra in contatto con le feci ricche di ureasi.

A tal proposito, evitare il contatto tra urine e feci può quindi rappresentare un metodo molto efficace per limitare la produzione e la volatilizzazione dell'ammoniaca. Sebbene il processo di idrolisi dell'urea e le possibili implicazioni per la gestione degli effluenti di allevamento fossero già largamente conosciuti, l'effettiva riduzione delle emissioni ammoniacali ottenibile con la separazione feci/urine rimane da determinare (da non confondere con la separazione solido-liquido

dei liquami). Da uno studio recente svolto in laboratorio all'Università di Firenze, sono state comparate le emissioni di NH_3 da diverse tipologie di escrezioni bovine da latte in lattazione, evidenziando che le feci e le urine mantenute separate hanno emissioni di ammoniaca fino a 100 volte inferiori rispetto al mix di urine e feci (ciò che normalmente si trova in allevamento). Evitare il contatto feci-urine potrebbe quindi ridurre drasticamente l'emissione di NH_3 all'interno della stalla con benefici ambientali oltre che in termini di benessere animale e salute degli operatori. Inoltre raccogliere le urine separate dalle feci consentirebbe di applicare trattamenti specifici per la riduzione delle emissioni in fase di stoccaggio.

Allevamento	Concentrazione (ppm)
Bovini	7-14
Suini	6-38
Pollastre	5-20
Ovaiole	5-53
Tacchini	8-60

Tabella 8: Concentrazione di ammoniaca espressa in ppm, rilevabile nei diversi tipi di allevamento (fonte APAT - Metodi di misura delle emissioni olfattive – allevamenti zootecnici)

Relativamente alla formazione di Idrogeno Solforato nel letame, è dovuta alla presenza di zolfo e di batteri in quantità tale da trasformarlo in un ambiente anaerobico. L' H_2S è considerato il più pericoloso dei gas che possono formarsi nelle vasche con i liquami, perché è altamente tossico e può svilupparsi rapidamente durante le fasi di agitazione e pompaggio. Il liquame non mescolato meccanicamente, tende a separarsi in tre strati distinti: schiuma o feccia sulla superficie, uno strato acquoso e un fango che si deposita sul fondo della vasca di contenimento.

A causa della sua bassa solubilità in acqua, gran parte del gas resta intrappolato nelle bolle della schiuma surnatante; l'agitazione del liquido può rilasciare H_2S la cui concentrazione può essere letale negli ambienti confinati. L'azione di pompaggio crea una tremenda turbolenza con il conseguente rilascio di gas in soluzione.

Per avere un'indicazione quantitativa sulle concentrazioni di idrogeno solforato che possono essere generate dalla putrefazione delle feci, sono state eseguite delle rilevazioni in alcuni stoccaggi di liquami di allevamenti suini, in particolare all'interno di un vascone di contenimento feci, in un punto dove l'operatore sarebbe potuto intervenire. I valori rilevati sono stati di 2.000 ppm, mentre in un altro allevamento è stata rilevata una concentrazione di 2.500 ppm. Questi sono evidentemente valori elevati che possono condurre a morte istantanea qualsiasi operatore non adeguatamente protetto.

1.5.4 – Approcci utili al controllo degli odori nel settore zootecnico

La prevenzione, anche nell'ambito zootecnico, può permettere di arginare e controllare le emissioni odorigene, agendo sulla riduzione della formazione degli odori impiegando tecniche "end of pipe" e migliorando la dispersione.

Si può agire sulla formazione degli odori attraverso la modificazione della dieta animale, la quale può rappresentare un modo pratico per limitare l'impatto emissivo, intervenendo sul controllo a monte della quantità/composizione del letame prodotto e delle emissioni gassose associate, nonché sulla produzione di metano enterico (Ubeda, 2013; Loyon, 2016). Tale intervento di mitigazione è identificato come "BAT" nel documento di riferimento "BREF" per allevamenti di suini e avicoli (*Best Available Techniques – Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, 2017*). La modificazione della dieta può influenzare il livello di azoto, fosforo e oligoelementi senza penalizzare la salute, il benessere e la performance dell'animale. Nei maiali da ingrasso, ad esempio, un'alimentazione a ridotto contenuto proteico, integrata con amminoacidi, può ridurre l'escrezione di azoto del 25-50% e portare un pH più basso e pertanto generare una riduzione della successiva emissione di NH₃ (Dourmad and Jondreville, 2007).

Gli interventi gestionali, relativamente ai ricoveri, sono il mantenimento di un buon livello igienico di pulizia associato a sistemi di rimozione rapida delle deiezioni ed efficaci sistemi di ventilazione, i quali possono portare a livelli accettabili di contenimento dell'impatto olfattivo dell'allevamento. L'utilizzo di lettiera, ove il sistema di produzione lo consenta, si dimostra generalmente efficace nella riduzione delle emissioni osmogene. Sistemi di rimozione rapida dei liquami evitano l'instaurarsi, all'interno dei locali di allevamento, di processi di degradazione anaerobica delle deiezioni che sono sicuramente responsabili nella produzione di odori sgradevoli.

La riduzione delle superfici emissive e modalità di rimozione rapida e frequente dei liquami (come sopra specificato), sono le condizioni che consentono di mitigare le emissioni odorigene, in particolare nei ricoveri suinicoli che, di norma, non utilizzano le lettiera.

Nel caso invece degli allevamenti bovini e avicoli, si può ricorrere all'uso di lettiera per avere un effetto riduttivo della concentrazione degli odori. È utile sottolineare che nel caso dei ricoveri avicoli, dove le deiezioni sono in forma semi-solida, assume importanza il grado di essiccazione della pollina che si riesce a conseguire; tanto maggiore è la rapidità di disidratazione tanto più vengono rallentati i processi di degradazione che generano gli odori. Nella quantificazione delle emissioni odorigene ha grande importanza una corretta valutazione dei regimi di ventilazione, che variano fortemente nel corso dell'anno, ma anche della giornata; ad esempio le portate di aria estratta nel periodo estivo possono essere anche 10 volte superiori a quelle del periodo invernale.

I liquami prodotti in allevamento vengono stoccati in vasche o lagoni; la riduzione delle emissioni osmogene da tali strutture può essere raggiunta riducendo la circolazione dell'aria sulla superficie, attraverso varie forme di copertura. Le soluzioni plausibili vanno dal favorire la formazione di croste superficiali, che a volte si formano spontaneamente, all'utilizzare strati di copertura fatti di materiali

naturali o materiali plastici flottanti, all'installare vere e proprie strutture solide di copertura, in cemento o materiali plastici.

Gli odori sprigionati nel corso dello spandimento al suolo delle deiezioni, invece, dipendono dal contatto più o meno importante che esse hanno con l'atmosfera; gli interventi di prevenzione sono rappresentati dall'utilizzo di mezzi meccanici di spandimento che non generino aerosol troppo fini. Lo spandimento può anche avvenire a strisce, può essere interrato rapidamente o immediatamente, e possono essere applicati liquami a basso tenore di sostanza secca in modo tale da favorire l'infiltrazione rapida nel terreno.

Sono meritevoli di menzione, tra i metodi di riduzione delle emissioni odorose, gli additivi che dovrebbero essere in grado di abbattere l'impatto olfattivo generalmente provocato dai reflui; questi prodotti, miscelati alle deiezioni rallentano/bloccano i processi chimici, fisici e biologici responsabili delle suddette emissioni.

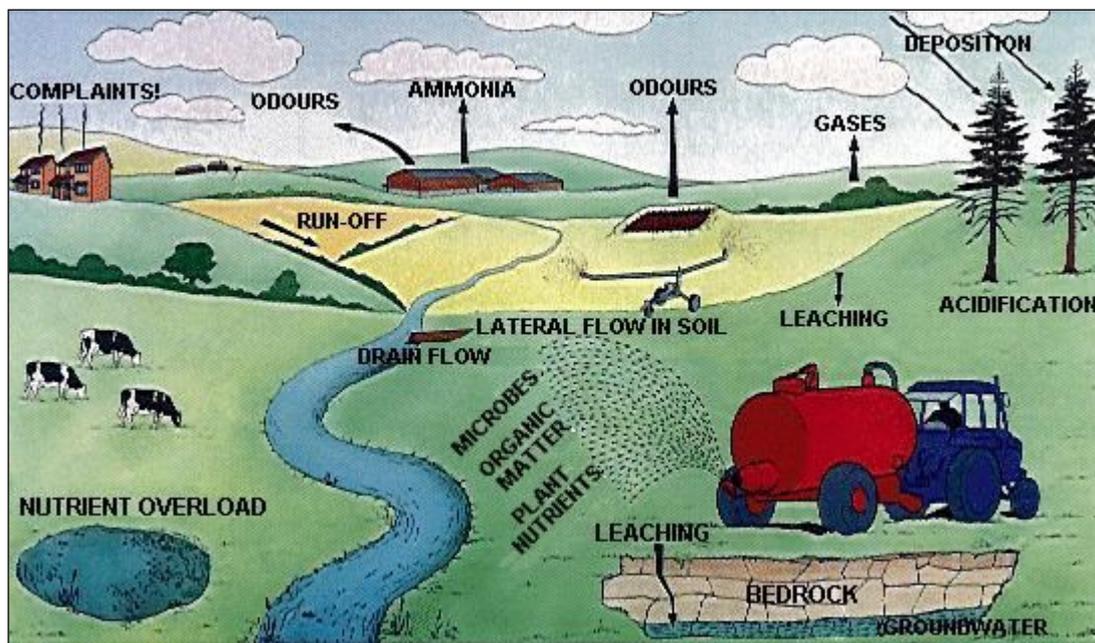
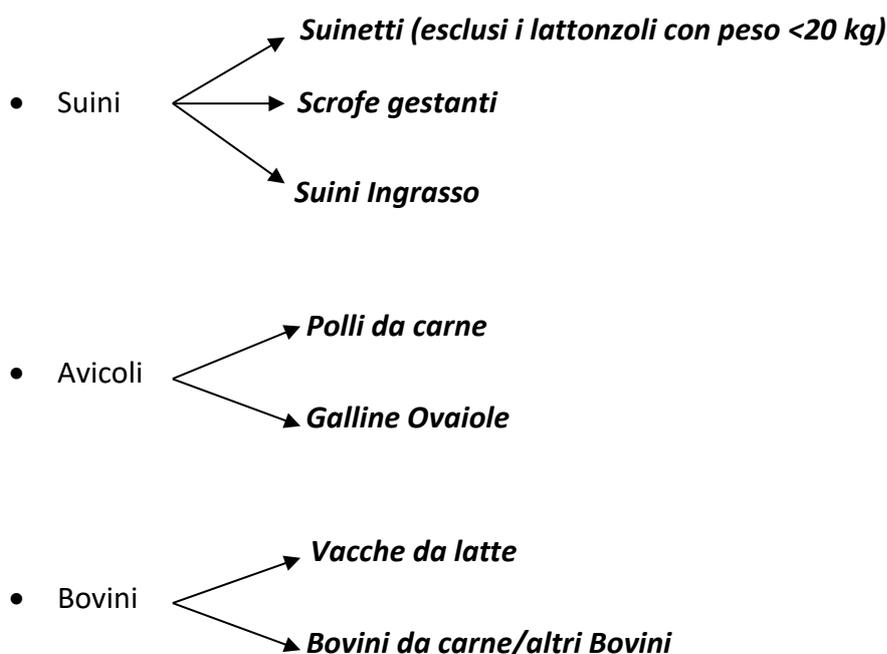


Figura 14: Illustrazione dei potenziali effetti negativi sull'ambiente, legati alle emissioni provenienti dagli allevamenti intensivi

2 – MATERIALI E METODI

Il capitolo seguente si propone come guida tecnica che riporta le emissioni inquinanti, provenienti dagli allevamenti intensivi, analizzandole e fornendo strumenti, metodi e applicazioni utili per generare una loro mitigazione in termini di produzione e rilascio finale in atmosfera e sul suolo. I valori e le informazioni raccolte per fornire i materiali e soprattutto i metodi necessari per una corretta gestione delle fasi principali attuabili in un allevamento tipo – parliamo di Stabulazione, Stoccaggio delle deiezioni e Spandimento – sono stati reperiti nei vari documenti normativi come ad esempio i Rapporti ISPRA e i Report della Regione Veneto, così come le misure di mitigazione fanno riferimento alle Direttive comunitarie e precisamente alla *Decisione di esecuzione UE 2017/302* e alle *BAT – AELs (Best Techniques Available – Associated Emission Levels)*.

Tra le varie tipologie di allevamento esistenti, questo documento si indirizza principalmente verso l'analisi dei seguenti allevamenti intensivi:



Degli stessi tipi di allevamento, si analizzeranno le emissioni provenienti dalle fasi del processo produttivo e precisamente:

- **La stabulazione**: è la prima fase di gestione delle deiezioni animali all'interno delle stalle e a seconda della tipologia di allevamento differisce per tecnica di stabulazione. Tuttavia la rimozione più o meno frequente dei reflui palabili e non palabili rappresenta un fattore di elevata importanza, per la determinazione delle emissioni e del benessere animale;

- Lo stoccaggio delle deiezioni: è la fase immediatamente successiva alla stabulazione, mediante la quale si determina un buon livello di abbattimento delle emissioni, associato ad una buona qualità degli effluenti, necessaria per il riutilizzo degli stessi;
- Lo spandimento agronomico degli effluenti di allevamento: rappresenta un potenziale fattore di emissione in ambiente, che può essere ridotto utilizzando tecniche ed accorgimenti operativi all'avanguardia e di buon senso, applicando le disposizioni normative vigenti in materia;

2.1 - ANALISI DELLE EMISSIONI PROVENIENTI DAGLI ALLEVAMENTI INTENSIVI DI SUINI

Questo paragrafo riporta i vari fattori di emissione dei principali inquinanti provenienti dagli allevamenti intensivi di suini, analizzando nello specifico le categorie delle Scrofe gestanti, dei Suinetti e dei Suini all'ingrasso, riportando i valori reperibili in letteratura relativi alle emissioni di Ammoniaca, Idrogeno solforato, Protossido di azoto, nonché i gas detti "climalteranti" e le polveri sottili che non rientrano tra le miscele di gas odorigene, ma forniscono un'idea sulle effettive emissioni degli allevamenti, anche in relazione ai potenziali effetti negativi sulla salute umana.

⇒ NH_3

<i>Animali</i>	<i>NH_3 Ricoveri</i>	<i>NH_3 Stoccaggio</i>	<i>NH_3 Spandimento</i>	<i>NH_3 Totale</i>
Kg/capo/ anno				
Scrofe gestanti	4,86	3,58	2,69	11,13
Suinetti	2,41	2,08	1,39	5,88
Suini all'ingrasso	2,38	1,70	1,28	5,36

Tabella 9: Emissioni annue di Ammoniaca per allevamenti suinicoli (fonte ISPRA, 2011; Mrad, 2014)

⇒ H_2S

Per quanto riguarda l'emissione di idrogeno solforato si fa riferimento a quanto riportato nell'articolo accademico "Ammonia and Hydrogen sulfide emissions from swine production facilities in North America" pubblicato sul *Journal of Animal Science*, nel quale si riscontra un fattore medio emissivo da ricovero di suini di 0,09 kg/capo/anno.

⇒ $N-N_2O/N_2O$

<i>Animali</i>	<i>$N-N_2O$ Stoccaggio/Ges tione deiezioni</i>	<i>$N-N_2O$ Spandimento</i>	<i>N_2O Stoccaggio/Ges tione deiezioni</i>	<i>N_2O Spandimento</i>
Kg/ anno				
Scrofe gestanti	0,0283	0,2552	0,044	0,4011

Suinetti	0,0128	0,1157	0,02	0,1817
Suini all'ingrasso	0,0128	0,1157	0,02	0,1817

Tabella 10: Emissioni annue di protossido di azoto per suinicoli (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ **CH₄**

Fattore di emissione CH₄ (kg/capo/anno)		
	Enterico	Gestione deiezioni
Scrofe gestanti	1,5	22,34
Suinetti	1,5	8,36
Suini all'ingrasso	1,5	8,36

Tabella 11: Emissioni annue di Metano per suinicoli (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ **PM₁₀**

Animali	PM₁₀ Ricoveri	PM₁₀ Stoccaggio	PM₁₀ Spandimento	PM₁₀ Totale
	Kg/capo/anno			
Scrofe gestanti	0,17		0,19	0,36
Suinetti	0,05			
Suini all'ingrasso	0,14		0,23	0,37

Tabella 12: Emissioni annue di Particolato per suinicoli (Rapporto ISPRA 306/2019 per PM₁₀ da Manure Management)

2.2 – ANALISI DELLE EMISSIONI PROVENIENTI DAGLI ALLEVAMENTI INTENSIVI DI AVICOLI

In questa fase vengono riportati i valori relativi alle emissioni dei principali gas ad impatto odorigeno e gas ad effetto serra (Ammoniaca, Idrogeno Solforato, Protossido di Azoto, Metano e il PM 10), provenienti dagli allevamenti intensivi avicoli, analizzando le categorie delle Galline ovaiole e dei Polli da carne, sulla scorta dei fattori di emissione raccolti in letteratura nei vari documenti ISPRA e Report della Regione Veneto.

⇒ **NH₃**

Animali	NH₃ Ricoveri	NH₃ Stoccaggio	NH₃ Spandimento	NH₃ Totale
	kg/capo anno			
Polli da carne	0,08	0,05	0,03	0,16
Galline ovaiole	0,09	0,06	0,04	0,19

Tabella 13: Emissioni annue di Ammoniaca per avicoli (fonte ISPRA, 2011; Mrad, 2014)

⇒ H_2S

Per la determinazione del fattore di emissione per H_2S si sono esaminati i seguenti studi al riguardo, presenti in letteratura tecnica:

“Hydrogen Sulfide and non-methane Hydrocarbon Emissions from Broiler Houses in the Southeastern United States” 6-2008 – Hong Li et al – IOWA State University.

In questo studio è emerso che l’emissione annuale di H_2S accumulata per ogni capannone analizzato in 365 giorni è stata di 19,2 kg/anno/capannone e quindi un valore medio pari a circa 0,0007665 Kg/capo/anno (2,10 mg/capo/giorno).

⇒ $N-N_2O/N_2O$

Animali	$N-N_2O$	$N-N_2O$	N_2O	N_2O
	Stoccaggio/ Gestione deiezioni	Spandimento	Stoccaggio/ Gestione deiezioni	Spandimento
	Kg/ anno			
Polli da carne	7,2 ⁻³	0,00324	0,011	0,005091
Galline ovaiole	0,0113	0,00594	0,018	0,009334

Tabella 14: Emissioni annue di Protossido di Azoto per avicoli (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ CH_4

	Fattore di emissione CH_4 (kg/capo/anno)	
	Enterico	Gestione deiezioni
Polli da carne	0	0,079
Galline ovaiole	0	0,082

Tabella 15: Emissioni annue di Metano per avicoli (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ PM_{10}

Animali	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}
	Ricoveri	Stoccaggio	Spandimento	Totale
	Kg/capo anno			
Polli da carne	0,02		0,024	0,044
Galline ovaiole	0,04		0,053	0,093

Tabella 16: Emissioni annue di Particolato per avicoli (Rapporto ISPRA 306/2019 per PM_{10} da Manure Management)

2.3 – ANALISI DELLE EMISSIONI PROVENIENTI DAGLI ALLEVAMENTI INTENSIVI DI BOVINI

In questo paragrafo sono specificati i fattori emissivi provenienti dagli allevamenti intensivi di bovini, analizzando primariamente le emissioni di Ammoniaca, Idrogeno Solforato, Protossido di Azoto, Metano e Polveri sottili prodotti dalla categoria “Vacche da latte” e dalla categoria “altri Bovini”.

⇒ NH_3

<i>Animali</i>	<i>NH_3 Ricoveri</i>	<i>NH_3 Stoccaggio</i>	<i>NH_3 Spandimento</i>	<i>NH_3 Totale</i>
	<i>Kg/capo anno</i>			
Vacche da latte	16,73	18,40	11,79	46,92
Altri bovini	7,60	8,60	5,59	21,79

Tabella 17: Emissioni annue di Ammoniaca per i bovini (Rapporto ISPRA 306/2019 per NH_3 da Manure Management)

⇒ H_2S

Dati non presenti in letteratura.

⇒ $N-N_2O/N_2O$

<i>Animali</i>	<i>$N-N_2O$ Stoccaggio/ Gestione deiezioni</i>	<i>$N-N_2O$ Spandimento</i>	<i>N_2O Stoccaggio/ Gestione deiezioni</i>	<i>N_2O Spandimento</i>
	<i>Kg/ anno</i>			
Vacche da latte	1,368	0,9715	2,15	1,5266
Altri bovini	0,427	0,4323	0,67	0,6793

Tabella 18: Emissioni annue di Protossido di azoto per i bovini (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ CH_4

	<i>Fattore di emissione CH_4 (kg/capo/anno)</i>	
	<i>Enterico</i>	<i>Gestione deiezioni</i>
Vacche da latte	119,9	15,04
Altri bovini	45,9	7,75

Tabella 19: Emissioni annue di Metano per i bovini (Report Regione Veneto – Meriam Mrad, 2014)

⇒ PM_{10}

<i>Animali</i>	<i>PM₁₀ Ricoveri</i>	<i>PM₁₀ Stoccaggio</i>	<i>PM₁₀ Spandimento</i>	<i>PM₁₀ Totale</i>
	<i>Kg/capo anno</i>			
Vacche da latte	0,63		0,654	1,284
Altri bovini	0,27		0,316	0,586

Tabella 20: Emissioni annue di Particolato per i bovini (Rapporto ISPRA 306/2019 per PM_{10} da Manure Management)

2.4 – FATTORI DI EMISSIONE ASSOCIATI ALL'UTILIZZO DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

Con riferimento alle misure di mitigazione delle emissioni di gas serra e ammoniaca, derivanti dalle attività zootecniche, di seguito verranno riportati i valori emissivi associati al ricorso delle *BAT – AELs* (*Best Techniques Available – Associated Emission Levels*) ai sensi di quanto disposto dalla Direttiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo; i valori riportati sono frutto dell'attuazione di una serie di tecniche specifiche definite ed adottate dalla Decisione di Esecuzione UE 2017/302 della Commissione Europea, che stabilisce le conclusioni sulle Migliori Tecniche Disponibili (BAT) afferenti l'allevamento intensivo di pollame e/o di suini (art. 29-bis del D.lgs. 152/06).

Nella tabella 21 che segue, vengono riportati i valori di Azoto totale escreto in seguito all'attuazione di determinate migliori tecniche disponibili (MTD), che permettono l'abbattimento delle emissioni dello stesso inquinante, relativamente alle categorie suinicole ed avicole.

Parametro	Categoria Animale	Azoto totale escreto associato a BAT ^{(1) (2)} (Kg N escreto/posto animale/anno)
Azoto totale escreto espresso in N	Suinetti	1,5 – 4,0
	Suini all'ingrasso	7,0 – 13,0
	Scrofe gestanti (inclusi maialini da latte)	17,0 – 30,0
	Galline ovaiole	0,4 – 0,8
	Polli da carne	0,2 – 0,6

Tabella 21: Azoto totale escreto associato a BAT (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) Il limite inferiore dell'intervallo potrebbe essere raggiunto usando una combinazione delle tecniche
- (2) L'azoto totale escreto associato alle BAT non è applicabile ai pulcini né a quelli in riproduzione, per tutte le specie avicole

2.4.1 - Livello di prestazione ambientale associato all'applicazione delle MTD (BAT-AEL) per le emissioni di ammoniaca dalle stabulazioni suinicole

La tabella 22 seguente, riporta la quantità di Ammoniaca in termini di kg di NH₃ per posto animale all'anno, misurabile negli allevamenti suinicoli ed avicoli in seguito all'applicazione di determinate tecniche di abbattimento.

Parametro	Categoria Animale	BAT-AEL ⁽¹⁾ (kg NH ₃ /posto animale/anno)
Ammoniaca espressa in NH₃	Suineti	0,03 – 0,53 ^{(5) (6)}
	Suini all'ingrasso	0,1 – 2,6 ^{(7) (8)}
	Scrofe partorienti (inclusi maialini da latte)	0,4 – 5,6 ⁽⁴⁾
	Scrofe gestanti ed in riproduzione	0,2 – 2,7 ^{(2) (3)}

Tabella 22: Riduzione emissione Ammoniaca associata a BAT comparto suinicolo (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) Il limite inferiore dell'intervallo è associato all'uso di un sistema di pulizia dell'aria
- (2) Per gli impianti esistenti che usano BAT 30.a.0 in combinazione con misure nutrizionali, il limite superiore della BAT-AEL è 4,0 kg NH₃/posto stalla/anno
- (3) Per gli impianti che usano BAT 30.a.6, 30.a.7, oppure 30.a.11, il limite superiore della BAT-AEL è 5,2 kg NH₃/posto stalla/anno
- (4) Per gli impianti che usano BAT 30.a.0 in combinazione con misure nutrizionali, il limite superiore della BAT-AEL è 7,5 kg NH₃/posto stalla/anno
- (5) Per gli impianti che usano BAT 30.a.0 in combinazione con misure nutrizionali, il limite superiore della BAT-AEL è 0,7 kg NH₃/posto stalla/anno
- (6) Per gli impianti che usano BAT 30.a.6, 30.a.7, oppure 30.a.8, il limite superiore della BAT-AEL è 0,7 kg NH₃/posto stalla/anno
- (7) Per gli impianti che usano BAT 30.a.0 in combinazione con misure nutrizionali, il limite superiore della BAT-AEL è 3,6 kg NH₃/posto stalla/anno
- (8) Per gli impianti che usano BAT 30.a.6, 30.a.7, oppure 30.a.16., il limite superiore della BAT-AEL è 5,65 kg NH₃/posto stalla/anno

2.4.1.1 - BAT 30

Al fine di ridurre le emissioni di ammoniaca nell'aria provenienti da ciascun ricovero zootecnico per suini, la BAT 30 consiste nell'utilizzare una delle tecniche riportate nella tabella di seguito o una loro combinazione, relativamente alla loro applicabilità per ciascuna categoria suinicola di riferimento.

	Tecnica ⁽¹⁾	Specie Animale	Applicabilità
a	<p>Una delle seguenti tecniche, che applicano uno dei seguenti principi o una loro combinazione:</p> <p>(I) ridurre le superfici di emissione di ammoniaca;</p> <p>II) aumentare la frequenza di rimozione del liquame (effluente di allevamento) verso il deposito esterno di stoccaggio;</p> <p>III) separazione dell'urina dalle feci;</p> <p>IV) mantenere la lettiera pulita ed asciutta.</p>		
	<p>0. Fossa profonda (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato) solo se in combinazione con un'ulteriore misura di riduzione, per esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una combinazione di tecniche di gestione nutrizionale; • Sistema di trattamento aria; • Riduzione del pH del liquame; • Raffreddamento del liquame. 	Tutti i suini	<p>Non applicabile ai nuovi impianti, a meno che una fossa profonda non sia combinata con un sistema di trattamento aria, raffreddamento del liquame e/o riduzione del pH del liquame.</p> <p>Applicabile solo agli impianti esistenti se usata in combinazione con una misura di mitigazione aggiuntiva, i.e. una combinazione con le tecniche nutrizionali, ad un sistema di pulizia dell'aria, alla riduzione del pH del liquame o in combinazione con la tecnica di raffreddamento del liquame.</p> <p>Per le scrofe gestanti/da riproduzione, solo la pavimentazione totalmente fessurata è applicabile quando meno del 15% della superficie dell'area di riposo è riservata alle aperture di scarico.</p>
	1. Pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata e	Tutti i suini	Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile

	rimozione frequente del liquame mediante vacuum system		agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
	2. Pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata e pareti inclinate nel canale di scarico dei liquami	Tutti i suini	Per le scrofe gestanti/da riproduzione, solo la pavimentazione totalmente fessurata è applicabile quando meno del 15% della superficie dell'area di riposo è riservata alle aperture di scarico.
	3. Pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata e rimozione frequente del liquame mediante l'uso del raschiatore	Tutti i suini	Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
	4. Pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata e rimozione frequente del liquame mediante flushing	Tutti i suini	Quando la frazione liquida del liquame viene impiegata per il risciacquo (flushing) della pavimentazione, questa tecnica potrebbe non essere applicabile alle aziende localizzate nelle vicinanze di recettori sensibili a causa dei picchi di odore che si possono registrare durante il flushing.
	5. pavimentazione parzialmente fessurata con fossa di raccolta liquame di ridotte dimensioni	Scrofe gestanti ed in riproduzione Suini all'ingrasso	Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
	6. Pavimentazione solida in CA coperta interamente da lettiera	Scrofe gestanti ed in riproduzione Suinetti Suini all'ingrasso	Non applicabile agli impianti nuovi se non per ragioni giustificate di benessere animale. Applicabile solamente per gli impianti nuovi con ventilazione naturale. Per gli allevamenti di scrofe da riproduzione/gestanti, la ventilazione forzata potrebbe essere utilizzata. Potrebbe non essere applicabile agli impianti aerati naturalmente e localizzati nei climi caldi
	7. Pavimentazione parzialmente fessurata con ricovero a cuccetta o capannina	Scrofe gestanti ed in riproduzione Suinetti Suini all'ingrasso	

	8. Pavimentazione solida in CA con sistema a flusso di paglia	Suinetti Suini all'ingrasso	BAT 30 (a.7) potrebbe richiedere la disponibilità di spazi grandi. BAT 30 (a.8) è applicabile agli impianti già esistenti dotati di pavimentazione solida in CA
	9. Box parzialmente fessurati con pavimento convesso e canali distinti per gli effluenti di allevamento e per l'acqua	Suinetti svezzati Suini da ingrasso	Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
	10. Box con lettiera con generazione combinata di effluenti di allevamento (liquame ed effluente solido)	Scrofe allattanti	Non applicabile agli impianti esistenti privi di pavimento in CA
	11. Box di alimentazione/riposo su pavimento pieno (in caso di recinti con lettiera)	Scrofe in attesa di calore e in gestazione	
	12. Bacino di raccolta degli effluenti di allevamento (pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata)	Scrofe allattanti	Generalmente applicabile
	13. Raccolta degli effluenti di allevamento in acqua	Suinetti svezzati Suini da ingrasso	Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
	14. Nastri trasportatori a V per gli effluenti di allevamento (pavimentazione parzialmente fessurata)	Suini da ingrasso	
	15. Combinazione di canali per gli effluenti di allevamento e per l'acqua (pavimento totalmente fessurato)	Scrofe allattanti	
	16. Corsia esterna ricoperta di lettiera su pavimentazione solida in CA	Suini da ingrasso	On applicabile nei climi freddi Questa tecnica potrebbe non essere generalmente applicabile agli impianti esistenti per motivi tecnici e/o economici.
b	Raffreddamento del liquame	Tutti i suini	Non applicabile se: — non è possibile riutilizzare il calore;

			— si utilizza lettiera.
c	Uso di un sistema di trattamento aria, quale: 1. Scrubber con soluzione acida; 2. Sistema di trattamento aria bifasico o trifasico 3. Bioscrubber (bio-filtro percolatore)	Tutti i suini	Potrebbe non essere di applicabilità generale a causa degli elevati costi di attuazione. Applicabile agli impianti esistenti solo dove si usa un sistema di ventilazione centralizzato.
d	Acidificazione del liquame	Tutti i suini	Generalmente applicabile
e	Uso di sfere galleggianti nel canale degli effluenti di allevamento.	Suini all'ingrasso	Non applicabile agli impianti muniti di fosse con pareti inclinate e agli impianti che applicano la rimozione del liquame mediante ricircolo (o flushing).

Tabella 23: Tecniche di gestione per gli allevamenti suinicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) La descrizione della tecnica è riportata nella tabella 26: "Tecniche di trattamento delle emissioni nell'aria provenienti dai ricoveri zootecnici"

2.4.2 - Tecniche per i ricoveri zootecnici suinicoli

Di seguito vengono riportate e descritte le tipologie di pavimenti e metodologie per ridurre le emissioni di ammoniaca provenienti dai ricoveri zootecnici per suini:

Tipo di pavimento	Descrizione
Pavimento tutto fessurato	Pavimento la cui superficie è interamente fessurata con travetti di metallo, cemento o plastica, con aperture che consentono alle feci e all'urina di cadere in un canale o una fossa posti al di sotto.
Pavimento parzialmente fessurato	Pavimento la cui superficie è parzialmente piena e parzialmente fessurata con travetti di metallo, cemento o plastica, con aperture che consentono alle feci e all'urina di cadere in un canale o una fossa posti al di sotto. Le incrostazioni sul pavimento pieno sono evitate con una corretta gestione dei parametri relativi al clima interno, in particolare in condizioni calde e/o un'adeguata progettazione dei sistemi di stabulazione.
Pavimento pieno in cemento	Pavimento la cui superficie è interamente costituita da cemento pieno. Il pavimento può essere coperto con lettiera

(per esempio paglia) a vari gradi. Il pavimento è di norma inclinato per facilitare il drenaggio dell'urina.

Tabella 24: Tipologie di pavimentazioni nei ricoveri suinicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

Le tipologie di pavimentazione di cui sopra, sono utilizzate nei sistemi di stabulazione descritti e possono essere combinate con specifici sistemi di raccolta e convogliamento dei reflui zootecnici suinicoli, come opportunamente specificato nella tabella 25 che segue.

Tecnica	Descrizione
<p>Fossa profonda (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato) solo se in combinazione con un'ulteriore misura di riduzione, per esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> — una combinazione di tecniche di gestione nutrizionale, — sistema di trattamento aria, — riduzione del pH del liquame, — raffreddamento del liquame. 	<p>I recinti sono muniti di una fossa profonda sotto il pavimento fessurato che consente il deposito del liquame fra le rimozioni infrequenti. Per i suini da ingrasso è possibile usare un canale a sfioro per gli effluenti di allevamento. La rimozione del liquame per lo spandimento agronomico o verso il deposito esterno avviene con la maggior frequenza possibile (per esempio almeno ogni due mesi) a meno che non vi siano vincoli tecnici (per esempio capacità di stoccaggio).</p>
<p>Sistema a depressione per una rimozione frequente del liquame (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).</p>	<p>Le aperture di uscita sulla parte inferiore della fossa o del canale sono collegate a un tubo di scarico posto al di sotto, che trasferisce il liquame verso il deposito esterno. Il liquame è scaricato frequentemente mediante apertura di una valvola o di una spina nel tubo principale del liquame, per esempio una o due volte la settimana; si sviluppa un lieve vuoto che consente di svuotare completamente la fossa o il canale. Si deve ottenere una certa profondità del liquame prima che il sistema possa funzionare per far funzionare efficacemente il vuoto.</p>
<p>Pareti inclinate nel canale per gli effluenti di allevamento (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).</p>	<p>Il canale dell'effluente di allevamento crea una sezione a V con il punto di scarico posto sulla parte inferiore. La pendenza e la levigatezza della superficie agevolano lo scarico del liquame. La rimozione degli effluenti di allevamento è effettuata almeno due volte la settimana.</p>
<p>Raschiatore per una rimozione frequente del liquame (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).</p>	<p>Vi è un canale con sezione a V a due pareti inclinate su ciascun lato di una cunetta centrale, in cui l'urina può essere drenata verso una fossa di raccolta mediante un drenaggio sul fondo del canale per gli effluenti di allevamento. La frazione solida degli effluenti di allevamento è estratta dalla</p>

fossa frequentemente (per esempio quotidianamente) mediante un raschiatore. Per ottenere una superficie (più) liscia si raccomanda l'aggiunta di un rivestimento sul pavimento raschiato.

Pavimento convesso e canali distinti per gli effluenti di allevamento e per l'acqua (in caso di recinti parzialmente fessurati).

I canali per gli effluenti di allevamento e per l'acqua sono costruiti sui lati opposti del pavimento pieno in cemento convesso e liscio. Il canale per l'acqua è installato al di sotto del lato del recinto in cui i suini hanno tendenza ad alimentarsi e ad abbeverarsi. Per riempire i canali dell'acqua si può usare l'acqua usata per pulire i recinti. Il canale è parzialmente riempito con almeno 10 cm di acqua. Il canale per gli effluenti di allevamento può essere costruito con cunette o pareti inclinate che sono di norma risciacquate due volte al giorno, per esempio con acqua proveniente dall'altro canale o la frazione liquida del liquame (contenuto di materia secca non superiore a circa il 5 %).

Nastri trasportatori a V per gli effluenti di allevamento (in caso di pavimento parzialmente fessurato).

Nastri trasportatori a V per gli effluenti di allevamento scorrono all'interno dei canali per gli effluenti di allevamento coprendone tutta la superficie, in modo che tutte le feci e l'urina vi siano raccolte. I nastri sono azionati almeno due volte al giorno per trasportare separatamente feci e urina verso il deposito chiuso per gli effluenti di allevamento. I nastri sono di plastica (polipropilene o polietilene).

Fossa di dimensioni ridotte per gli effluenti di allevamento (in caso di pavimento parzialmente fessurato). Rimozione frequente del liquame mediante ricircolo (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).

Il recinto è munito di una corsia stretta avente una larghezza di circa 0,6 m. La fossa può essere collocata in una corsia esterna.

Rimozione frequente del liquame mediante ricircolo (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).

Una rimozione del liquame è effettuata molto frequentemente (per esempio una o due volte al giorno) mediante ricircolo nei canali con la frazione liquida del liquame (contenuto di materia secca non superiore a circa il 5 %) o con acqua. La frazione liquida del liquame può anche essere aerata prima del ricircolo. Questa tecnica può essere combinata con variazioni individuali del fondo dei canali o

delle fosse, per esempio cunette, tubi o strato permanente di liquame.

Ricovero a cuccetta/capannina (in caso di pavimento parzialmente fessurato).

Nei recinti dei ricoveri a ventilazione naturale sono organizzate zone funzionali distinte. La zona di riposo (circa il 50-60 % dell'area totale) consiste in un pavimento di cemento isolato e livellato con cuccette o capannine coperte e isolate, munite di un tetto incernierato che può essere alzato e abbassato per controllare la temperatura e la ventilazione. Le zone di attività e di alimentazione si trovano su un pavimento fessurato con una fossa per gli effluenti di allevamento al di sotto da cui gli effluenti di allevamento sono rimossi frequentemente, per esempio mediante vuoto. Su un pavimento di cemento pieno è possibile usare paglia.

Sistema a copertura intera di lettiera (in caso di pavimento pieno in cemento).

Un pavimento interamente di cemento quasi del tutto coperto da uno strato di paglia o di altri materiali lignocellulosici.

Nel sistema a copertura intera di lettiera l'effluente solido è rimosso frequentemente (per esempio due volte la settimana). In alternativa nel sistema a lettiera profonda, si aggiunge paglia in superficie e gli effluenti di allevamento accumulati sono rimossi alla fine del ciclo di allevamento. Si possono organizzare zone funzionali distinte per il riposo, l'alimentazione, il movimento e la defecazione.

Corsia esterna ricoperta di lettiera (in caso di pavimento pieno in cemento).

Una porta di ridotte dimensioni consente ai suini di uscire per defecare in una corsia esterna munita di pavimento di cemento ricoperto di lettiera. Gli effluenti di allevamento cadono in un canale da cui sono raschiati una volta al giorno.

Box di alimentazione/riposo su pavimento pieno (in caso di recinti con lettiera).

Box di alimentazione/riposo su pavimento pieno (in caso di recinti con lettiera). Le scrofe sono tenute in un recinto diviso in due zone funzionali, una principale coperta di lettiera con una serie di box di alimentazione/riposo su pavimento pieno. Gli effluenti di allevamento restano nella paglia o in altro materiale ligno-cellulosico, fornito e sostituito regolarmente.

Raccolta degli effluenti di allevamento in acqua

Gli effluenti di allevamento sono raccolti nell'acqua di pulizia che resta nel canale per gli effluenti di allevamento ed è riempito fino a un livello di 120-150 mm. Le pareti inclinate del canale sono facoltative. Il canale per gli effluenti di allevamento è svuotato dopo ogni ciclo di allevamento.

Combinazione di canali per gli effluenti di allevamento e per l'acqua (in caso di pavimento tutto fessurato).

La scrofa è tenuta in un posto fisso (mediante una gabbia parto) munito di zona specifica per la defecazione. La fossa per gli effluenti di allevamento è divisa in un canale ampio per l'acqua davanti e un canale ridotto per gli effluenti di allevamento sul retro, con una superficie ridotta per gli effluenti di allevamento. Il canale frontale è parzialmente riempito di acqua.

Bacino di raccolta degli effluenti di allevamento (in caso di pavimento tutto o parzialmente fessurato).

Un bacino prefabbricato (o una fossa) è collocato sotto il pavimento fessurato. Il bacino è più profondo a un'estremità con una pendenza di almeno 3° verso il canale centrale per l'effluente di allevamento; gli effluenti di allevamento sono scaricati quando raggiungono il livello di circa 12 cm. Se vi è un canale per l'acqua, il bacino può essere suddiviso in una sezione per l'acqua e una per gli effluenti di allevamento.

Sistema a flusso di paglia (in caso di pavimento pieno in cemento)

I suini sono allevati in recinti muniti di pavimenti pieni, su cui sono definite una zona di riposo inclinata e una zona di escrezione. La paglia è fornita quotidianamente agli animali. L'attività dei suini spinge e distribuisce la lettiera sulla pendenza del recinto (4-10 %) verso la corsia per la raccolta degli effluenti di allevamento. La frazione solida può essere rimossa frequentemente (per esempio quotidianamente) con un raschiatore.

Recinti con lettiera con generazione combinata di effluenti di allevamento (liquame ed effluente solido)

Le gabbie parto sono munite di zone funzionali separate: una cuccetta, zone per il movimento e per la defecazione con pavimenti fessurati o perforati nonché una zona per l'alimentazione su pavimento pieno. I suinetti dispongono di un nido coperto con lettiera. Il liquame è rimosso frequentemente con un raschiatore. L'effluente solido è rimosso ogni giorno manualmente dalle zone a pavimento pieno. Si fornisce lettiera regolarmente. Il sistema può essere combinato con un cortile.

Uso di sfere galleggianti nel canale per gli effluenti di allevamento.	Sfere riempite a metà con acqua, di una plastica speciale con un rivestimento non coloso, galleggiano sulla superficie dei canali per gli effluenti di allevamento.
---	---

Tabella 25: Descrizione dei metodi di allontanamento delle deiezioni dai ricoveri suinicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

2.4.3 - Tecniche di trattamento delle emissioni nell'aria nei ricoveri zootecnici suinicoli

Relativamente alle tecniche di abbattimento delle emissioni negli allevamenti zootecnici per suini, in questa fase sono descritti i sistemi di trattamento aria che forniscono dei buoni risultati, talvolta ottimi, di performance così come riportato nella tabella 26 sottostante.

Tecnica	Descrizione
Biofiltro	L'aria esausta è convogliata attraverso uno strato filtrante di materiali organici, quali radici o trucioli di legno, corteccia grossolana, compost o torba. Il materiale filtrante è mantenuto sempre umido mediante spruzzatura intermittente sulla superficie. Le particelle di polveri e i composti odoriferi aerei sono assorbiti dalla pellicola umida, sono ossidati o degradati dai microorganismi viventi sul materiale inumidito.
Bioscrubber (o filtro irrorante biologico o bio-filtro percolatore)	La colonna filtrante a riempimento contenente materiale di riempimento inerte è di norma mantenuta continuamente umida spruzzando acqua. Gli inquinanti dell'aria sono assorbiti durante la fase liquida e quindi sono degradati dai microorganismi che si trovano sugli elementi filtranti. È possibile realizzare una riduzione dell'ammoniaca compresa fra il 70 % e il 95 %.
Filtro a secco	L'aria esausta è soffiata su uno schermo per esempio di plastica multistrato posto di fronte al ventilatore della parete di fondo. L'aria soffiata è sottoposta a forti cambiamenti di direzione che causano la separazione delle particelle mediante forza centrifuga.
Sistema di trattamento aria bifasico o trifasico	In un sistema a due fasi, la prima fase (scrubber con soluzione acida) è di norma combinato con un bioscrubber (seconda fase). In un sistema a tre fasi, una prima fase (scrubber ad acqua) è di norma combinata con una seconda fase (scrubber con soluzione acida), seguita da un biofiltro (terza fase). È possibile realizzare una riduzione dell'ammoniaca compresa fra il 70 % e il 95 %.

Scrubber ad acqua	L'aria esausta è soffiata attraverso un mezzo quale una colonna filtrante a corrente trasversale. L'acqua è continuamente spruzzata sul materiale filtrante. La polvere è rimossa e sedimenta nel serbatoio dell'acqua, che è svuotato prima di ogni successivo riempimento.
Separatore d'acqua	L'aria esausta è diretta verso il basso dai ventilatori verso un bagno d'acqua che impregna le particelle di polveri. Il flusso è quindi ridiretto verso l'alto di 180°. Il livello dell'acqua è mantenuto costante per compensare l'evaporazione.
Scrubber con soluzione acida	L'aria esausta è convogliata attraverso un filtro (per esempio parete a riempimento) in cui è spruzzato un liquido acido in circolazione (per esempio acido solforico). È possibile realizzare una riduzione dell'ammoniaca compresa fra il 70 % e il 95 %.

Tabella 26: Tecniche di trattamento dell'aria nei ricoveri suinicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

2.4.4 - Tecniche di trattamento dei liquami suinicoli

Tra le Migliori Pratiche Disponibili, si riportano di seguito delle tecniche di trattamento dei liquami suinicoli che possono prevedere la riduzione della temperatura del refluo e l'acidificazione dello stesso agendo chimicamente sul valore del pH, così come descritto nelle tabelle 20 e 21 che seguono.

Tecnica	Descrizione
Tubi di raffreddamento del liquame	La riduzione della temperatura del liquame (di norma meno di 12 °C) si realizza mediante installazione di un sistema di raffreddamento collocato sopra il liquame, sopra il pavimento di cemento o installato nel pavimento stesso. L'intensità di raffreddamento applicata può essere compresa fra 10 W/m ² e 50 W/m ² per le scrofe in gestazione e i suini da ingrasso su pavimenti parzialmente fessurati. Il sistema consiste in tubi nei quali circola un liquido refrigerante o acqua. I tubi sono collegati a un dispositivo di scambio del calore per recuperare energia che può essere usata per riscaldare altre parti dell'azienda agricola. La fossa o i canali devono esser svuotati

frequentemente a causa della superficie di scambio dei tubi relativamente modesta.

Tabella 27: Tecniche di raffreddamento dei liquami suinicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

Tecnica	Descrizione
Acidificazione del liquame	Si aggiunge acido solforico al liquame per abbassare il pH della fossa del liquame a circa 5,5. L'aggiunta può essere effettuata in un serbatoio di processo, seguita da aerazione e omogeneizzazione. Parte del liquame trattato è pompata nuovamente nella fossa di deposito sotto i pavimenti dei ricoveri zootecnici. Il sistema di trattamento è interamente automatizzato. Prima (o dopo) lo spandimento agronomico su suoli acidi, può essere necessario aggiungere calce per neutralizzare il pH del suolo. In alternativa l'acidificazione può essere effettuata direttamente nel deposito di stoccaggio del liquame o in continuo durante lo spandimento agronomico.

Tabella 28: Tecniche di riduzione del pH del liquame (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

2.5 - LIVELLO DI PRESTAZIONE AMBIENTALE ASSOCIATO ALL'APPLICAZIONE DELLE MTD (BAT-AEL) PER LE EMISSIONI DI AMMONIACA DALLE STABULAZIONI DI GALLINE OVAIOLE E POLLI DA CARNE

In questo paragrafo vengono trattati i valori di riduzione dell'ammoniaca prodotta all'interno degli allevamenti di galline ovaiole (Tabella 29) e all'interno dei sistemi di stabulazione per i polli da carne (Tabella 30), sulla scorta dei fattori di emissione associati all'applicazione delle Migliori Tecniche Disponibili, così come riportato nella *Decisione di Esecuzione UE 2017/302*.

Parametro	Modalità di stabulazione	BAT-AEL ⁽¹⁾ (kg NH ₃ /posto animale/anno)
Ammoniaca espressa in NH₃ per galline ovaiole	Sistema in gabbia	0,02 – 0,08
	Sistema non in gabbia	0,02 – 0,13 ⁽¹⁾

Tabella 29: Riduzione emissione Ammoniaca associata a BAT per le galline ovaiole (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

(1) Per gli impianti esistenti che usano BAT 31.b.0., il limite superiore della BAT-AEL è 0,25 kg NH₃/posto stalla/anno

Parametro	BAT-AEL ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (kg NH ₃ /posto animale/anno)
Ammoniaca espressa in NH₃ per polli da carne	0,01 – 0,08

Tabella 30: Riduzione emissione Ammoniaca associata a BAT per i polli da carne (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) Il BAT.AEL può non essere applicabile ai seguenti tipi di pratiche agricole: estensivo al coperto, all'aperto, rurale all'aperto e rurale in libertà, a norma delle definizioni di cui al regolamento (CE) n. 543/2008 della Commissione, del 16 giugno 2008, recante modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 1234/2007 del Consiglio per quanto riguarda le norme di commercializzazione per le carni di pollame (GU L 157 del 17.6.2008 pag. 46).
- (2) Il valore più basso dell'intervallo è associato all'utilizzo di un sistema di trattamento dell'aria.

2.5.1 – BAT 31

Al fine di ridurre le emissioni diffuse nell'aria, provenienti da ciascun ricovero zootecnico per galline ovaiole e polli da carne, la BAT 31 consiste nell'utilizzare una delle tecniche riportate nella tabella 31 che segue, relativamente alla loro applicabilità per ciascuna categoria avicola di riferimento e modalità di stabulazione adottata.

	Tecnica ⁽¹⁾	Applicabilità
a	Rimozione degli effluenti di allevamento e mediante nastri trasportatori (anche in caso di sistema di gabbie modificate) con almeno: — una rimozione per settimana con essiccazione ad aria, oppure — due rimozioni per settimana senza essiccazione ad aria.	I sistemi di gabbie modificate non sono applicabili alle pollastre e ai polli da carne riproduttori. I sistemi di gabbie non modificate non sono applicabili alle galline ovaiole.
b	In caso di gabbie non modificate:	
	0. Sistema di ventilazione forzata e rimozione infrequente degli effluenti di allevamento (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento) solo se in combinazione con un'ulteriore misura di riduzione, per esempio: — realizzando un elevato contenuto di materia secca negli effluenti di allevamento, — un sistema di trattamento aria.	Non applicabile ai nuovi impianti, a meno che non siano muniti di un sistema di trattamento aria.
	1. Nastro trasportatore o raschiatore (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento).	L'applicabilità agli impianti esistenti può essere limitata dal requisito di revisione completa del sistema di stabulazione.

	2. Essiccazione ad aria forzata dell'effluente mediante tubi (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento). La tecnica può essere applicata solo agli impianti aventi spazio a sufficienza sotto i travetti.	La tecnica può essere applicata solo agli impianti aventi spazio a sufficienza sotto i travetti.
	3. Essiccazione ad aria forzata degli effluenti di allevamento mediante pavimento perforato (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento).	Può non essere applicabile alle aziende agricole esistenti a causa degli elevati costi.
	4. Nastri trasportatori per gli effluenti di allevamento (voliere).	L'applicabilità agli impianti esistenti dipende dalla larghezza del ricovero.
	5. Essiccazione forzata della lettiera usando aria interna (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	Generalmente applicabile.
	Uso di un sistema di trattamento aria, quale: 1. Scrubber con soluzione acida; 2. Sistema di trattamento aria a due o tre fasi; 3. Bioscrubber (o filtro irrorante biologico).	Potrebbe non essere di applicabilità generale a causa degli elevati costi di attuazione. Applicabile agli impianti esistenti solo dove si usa un sistema di ventilazione centralizzato.

Tabella 31: Tecniche di gestione per gli allevamenti avicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) La descrizione della tecnica è riportata nella tabella 26: "Tecniche di trattamento delle emissioni nell'aria provenienti dai ricoveri zootecnici"

Le tecniche riportate in tabella 32 che segue, qualora attuate, permettono di ridurre le emissioni di ammoniaca provenienti dai ricoveri zootecnici per galline ovaiole e polli da carne, e fanno riferimento alla descrizione delle varie modalità di stabulazione e allontanamento delle deiezioni.

Tecnica	Descrizione
Sistema di gabbie non modificate	I polli da carne riproduttori si trovano in sistemi di gabbie non modificate munite di posatoi, zona per le deiezioni e nido. Alle pollastre deve essere concessa un'esperienza adeguata delle pratiche di gestione (per esempio alimentazione speciale e sistemi di abbeveraggio) e delle condizioni ambientali (per esempio luce naturale, posatoi, lettiera) per consentire loro di adattarsi ai sistemi di allevamento in cui saranno immessi più avanti durante l'esistenza. Le gabbie sono di norma disposte su tre o più piani.
Sistema di gabbie modificate	Le gabbie modificate sono costruite con pavimenti in pendenza, sono costituite da rete metallica o travetti di plastica, sono munite di impianti fissi e dispongono di maggior spazio per l'alimentazione, l'abbeveraggio, la nidificazione, il grattarsi, l'appollaiamento e la raccolta delle uova. La capacità delle gabbie varia da 10 a 60 volatili. Le gabbie sono di norma disposte su tre o più piani.

Lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento	Almeno un terzo dell'intero pavimento del ricovero zootecnico è ricoperto di lettiera (per esempio sabbia, trucioli di legno, paglia). La superficie rimanente è fessurata, con una fossa per gli effluenti di allevamento collocata al di sotto. Gli impianti di alimentazione e abbeveraggio sono ubicati sulla zona fessurata. All'interno o all'esterno del ricovero zootecnico possono essere presenti ulteriori strutture, quali verande e un sistema all'aperto.
Voliere	Le voliere sono divise in zone funzionali distinte per l'alimentazione, l'abbeveraggio, la deposizione delle uova, il riposo e grattarsi. La zona utile è aumentata per mezzo di pavimenti fessurati sopraelevati combinati con ripiani. La superficie fessurata copre fra il 30 e il 60 % della superficie totale del pavimento. Il pavimento rimanente è di norma coperto di lettiera. Negli impianti per le galline ovaiole e per i polli da carne riproduttori il sistema può essere combinato con verande, anche con sistema all'aperto.
Rimozione degli effluenti di allevamento mediante nastri trasportatori (anche in caso di sistema di gabbie modificate) con almeno: — una rimozione per settimana con essiccazione ad aria, oppure — due rimozioni per settimana senza essiccazione ad aria.	I nastri trasportatori sono posti sotto le gabbie per la rimozione degli effluenti di allevamento. La frequenza della rimozione può essere settimanale (se con essiccazione ad aria forzata) o superiore (senza essiccazione ad aria forzata). Il nastro di raccolta può essere ventilato per essiccare gli effluenti di allevamento. Si può utilizzare anche l'essiccazione ad aria forzata a mezzo di ventola sui nastri trasportatori per gli effluenti di allevamento.
Nastro trasportatore degli effluenti di allevamento o raschiatore (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento).	Gli effluenti di allevamento sono rimossi mediante raschiatori (periodicamente) o nastri trasportatori (una volta la settimana per l'effluente essiccato, due volte la settimana per l'effluente non essiccato).
Sistema di ventilazione forzata e rimozione infrequente degli effluenti di allevamento (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento) solo se in combinazione con un'ulteriore misura di riduzione, per esempio: — tecniche per garantire un elevato contenuto di materia secca negli effluenti di	Il sistema a lettiera profonda è combinato con la rimozione infrequente degli effluenti di allevamento, per esempio alla fine del ciclo di allevamento. Si garantisce un contenuto minimo di materia secca negli effluenti di allevamento di circa il 50-60 %. Questo si ottiene con un apposito sistema di ventilazione forzata (per esempio ventilatori ed estrazione dell'aria ad altezza del pavimento).

allevamento, — un sistema di trattamento aria.	
Essiccazione ad aria forzata degli effluenti di allevamento mediante tubi (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti per gli effluenti di allevamento).	Il sistema a lettiera profonda è combinato con l'essiccazione degli effluenti di allevamento mediante ventilazione forzata applicata con tubi che soffiano aria (per esempio a 17-20 °C e 1,2 m ³ /volatile) sull'effluente stoccato sotto il pavimento fessurato.
Essiccazione ad aria forzata degli effluenti di allevamento mediante pavimento perforato (in caso di lettiera profonda con fossa per gli effluenti di allevamento).	Il sistema a lettiera profonda è munito di un pavimento perforato posto sotto gli effluenti di allevamento che consente il soffio dell'aria forzata dal basso. Gli effluenti di allevamento sono rimossi alla fine di ogni periodo di crescita.
Nastri trasportatori per gli effluenti di allevamento (voliere).	Gli effluenti di allevamento sono raccolti su nastri trasportatori sotto il pavimento fessurato e rimossi almeno una volta alla settimana con nastri trasportatori, anche ventilati. I pavimenti coperti di lettiera e i pavimenti pieni possono essere combinati con le voliere per le pollastre.
Essiccazione forzata della lettiera usando aria interna (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	In un sistema a lettiera profonda privo di fossa per gli effluenti di allevamento, i sistemi di ricircolo dell'aria interna possono essere usati per essiccare la lettiera soddisfacendo nel contempo le esigenze fisiologiche dei volatili. A tal fine è possibile utilizzare ventilatori, scambiatori di calore e/o apparecchi di riscaldamento.

Tabella 32: Tecniche di riduzione delle emissioni ammoniacali da allevamenti avicoli (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

2.5.2 – BAT 32

Al fine di ridurre le emissioni diffuse nell'aria provenienti da ciascun ricovero zootecnico per polli da carne, la BAT 32 consiste nell'utilizzare una delle tecniche riportate di seguito o una loro combinazione, così come specificato in tabella 33.

	Tecnica ⁽¹⁾	Applicabilità
a	Ventilazione forzata con un sistema di abbeveraggio anti spreco (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	Generalmente applicabile.
b	Sistema di essiccazione forzata della lettiera usando aria interna (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	Per gli impianti esistenti, l'applicabilità dei sistemi di essiccazione ad aria forzata dipende dall'altezza del soffitto.

		I sistemi di essiccazione ad aria forzata possono non essere applicabili nei climi caldi, a seconda della temperatura interna.
c	Ventilazione naturale con un sistema di abbeveraggio anti spreco (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	La ventilazione naturale non è applicabile agli impianti muniti di un sistema di ventilazione centralizzata. La ventilazione naturale può non essere applicabile nella fase iniziale dell'allevamento dei polli da carne e in caso di condizioni climatiche estreme.
d	Lettieria su nastro trasportatore per gli effluenti ed essiccazione ad aria forzata (in caso di sistema di pavimento a piani sovrapposti).	Per gli impianti esistenti, l'applicabilità dipende dall'altezza delle pareti.
e	Pavimento riscaldato e raffreddato cosparso di lettiera (sistema combideck).	Per gli impianti esistenti l'applicabilità dipende dalla possibilità di installare un serbatoio di stoccaggio sotterraneo a ciclo chiuso per l'acqua di circolazione.
f	Uso di un sistema di trattamento aria, quale: 1. Scrubber con soluzione acida; 2. Sistema di trattamento aria a due o tre fasi; 3. Bioscrubber (o filtro irrorante biologico).	Potrebbe non essere di applicabilità generale a causa degli elevati costi di attuazione. Applicabile agli impianti esistenti solo dove si usa un sistema di ventilazione centralizzato.

Tabella 33: Tecniche di gestione per gli allevamenti di polli da carne (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

- (1) La descrizione della tecnica è riportata nella tabella 34: "Tecniche di trattamento delle emissioni nell'aria provenienti dai ricoveri zootecnici".

Nella tabella 34 sottostante, sono riportate le tecniche per ridurre le emissioni di ammoniaca, provenienti dai ricoveri zootecnici per i polli da carne, con particolare riferimento alle tecniche di stabulazione e allontanamento/trattamento delle deiezioni animali.

Tecnica	Descrizione
Ventilazione naturale o forzata con un sistema di abbeveraggio antispreco (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	L'edificio è chiuso e bene isolato, munito di ventilazione naturale o forzata e può essere combinato con una veranda e/o un sistema all'aperto. Il pavimento pieno è interamente ricoperto di lettiera che può essere aggiunta se necessario. L'isolamento del pavimento (per esempio cemento, argilla, membrana) evita la condensazione dell'acqua nella lettiera. Gli effluenti di allevamento sono rimossi alla fine del ciclo di allevamento. La configurazione e il funzionamento del sistema di abbeveraggio evitano le perdite e le fuoriuscite accidentali di acqua sulla lettiera.

Sistema di essiccazione forzata della lettiera usando aria interna (in caso di pavimento pieno con lettiera profonda).	I sistemi di ricircolo dell'aria interna possono essere usati per essiccare la lettiera soddisfacendo nel contempo le esigenze fisiologiche dei volatili. A tal fine è possibile utilizzare ventilatori, scambiatori di calore e/o apparecchi di riscaldamento.
Lettieria su nastro trasportatore per gli effluenti di allevamento e essiccazione ad aria forzata (in caso di sistema di pavimento a piani sovrapposti).	Sistema a pavimenti su piani multipli muniti di nastri trasportatori per gli effluenti di allevamento coperti con lettiera. Fra le fila di piani sono previsti corridoi per la ventilazione. L'aria entra da un corridoio ed è diretta verso il materiale di lettiera sul nastro trasportatore per gli effluenti di allevamento. La lettiera è rimossa alla fine di ogni periodo di allevamento. Il sistema può essere usato in combinazione con una fase iniziale distinta in cui i giovani pulcini da carne sono allevati per un tempo limitato su nastri trasportatori per gli effluenti di allevamento con lettiera su un sistema a piani multipli.
Pavimento riscaldato e raffreddato cosparso di lettiera (sistema combideck).	Un circuito ad acqua chiuso è installato sotto il pavimento e un altro si trova a un livello inferiore per immagazzinare l'eccesso di calore o erogarlo al ricovero zootecnico per il pollame quando è necessario. I due circuiti sono collegati da una pompa di calore. All'inizio del periodo di allevamento il pavimento è riscaldato con il calore immagazzinato per mantenere asciutta la lettiera evitando la condensazione dell'umidità; durante il secondo ciclo di allevamento, i volatili producono un eccesso di calore che è immagazzinato nel circuito di stoccaggio raffreddando il pavimento, consentendo di ridurre la degradazione dell'acido urico grazie alla minore attività microbica.

Tabella 34: Tecniche di riduzione delle emissioni ammoniacali da allevamenti di broilers (Decisione di esecuzione UE 2017/302)

Valutato quanto sopra esposto, relativamente alle Migliori Tecniche Disponibili per la riduzione delle emissioni dagli allevamenti avicoli, si può riassumere che la rimozione regolare degli escrementi seccati o non seccati ed il loro trasporto verso locali di stoccaggio permette la riduzione delle emissioni di Ammoniaca e di Protossido di Azoto. I nastri trasportatori possono essere utilizzati per il trasporto della pollina nei luoghi in cui potrà essere stoccata ed essiccata e, ove possibile, controllando la temperatura e la velocità dell'aria, sarà possibile limitare la volatilizzazione del NH_3 e del N_2O .

2.6 - LIVELLO DI PRESTAZIONE AMBIENTALE ASSOCIATO ALL'APPLICAZIONE DI MIGLIORI PRATICHE PER LE EMISSIONI DI AMMONIACA DALLE STABULAZIONI BOVINE

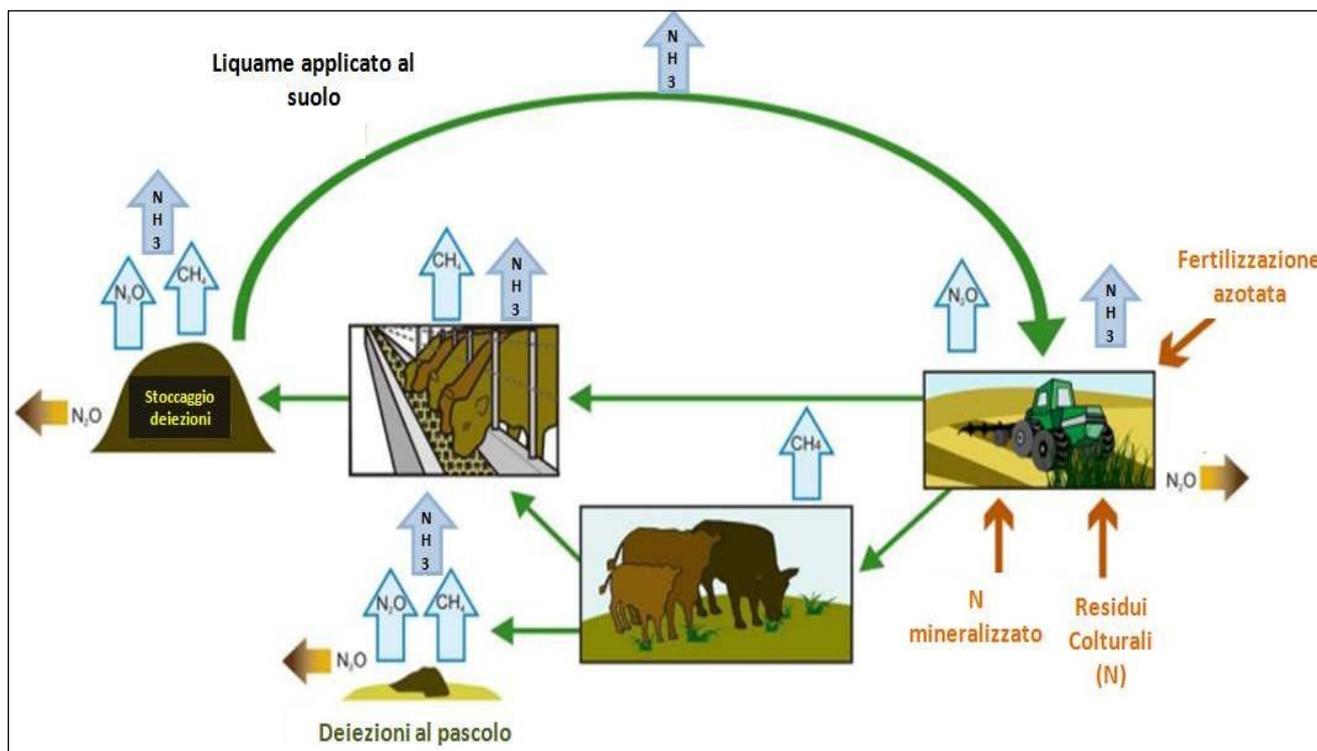


Figura 15: Ciclo di produzione e trattamento delle deiezioni bovine con relative emissioni gassose

I principali Green House Gas (GHG) prodotti dal comparto agricolo sono il biossido di carbonio (CO_2 , anidride carbonica), il metano (CH_4) e l'ossido di diazoto (N_2O , protossido di azoto), che secondo il *Ghg Inventory 1990-2017, National Inventory Report 2019 di Ispra*, rappresentano il 7,2% del totale delle emissioni nazionali; di queste, circa il 66% deriva dalle fermentazioni enteriche degli animali e dalla gestione degli effluenti zootecnici.

Com'è noto, l'ammoniaca è un gas tipicamente zootecnico (circa 80% delle emissioni nazionali) ed è il precursore dell'ossido di diazoto (N_2O), le cui emissioni dagli allevamenti nel 2017 sono state il 21,5% di quelle totali di N_2O del settore agricolo.

Nello stesso anno, le emissioni enteriche dei bovini da latte (CH_4) hanno rappresentato il 72,3% del totale del metano prodotto dal settore agricolo, mentre un altro 19,3% deriva dalla gestione degli effluenti zootecnici (movimentazione, trattamento e stoccaggio).

Le normative europee e nazionali fissano degli obiettivi di riduzione delle emissioni negli allevamenti, ma solamente per i comparti suinicolo e avicolo esistono riferimenti importanti sulle Migliori Tecniche Disponibili e per l'Autorizzazione integrata ambientale (Aia).

Pertanto in questa sezione si vogliono evidenziare quali sono (o potrebbero essere) le migliori pratiche da attuare, per una gestione più oculata e più attenta alla riduzione delle emissioni

provenienti dagli allevamenti del comparto bovino, in quanto è proprio questo settore ad avere la maggiore responsabilità sulle emissioni ammoniacali e di *GHG*.

Le linee di intervento per la riduzione delle emissioni possono essere definite come azioni di riduzione “*a monte*”, che incidono sul volume escreto per unità di prodotto finito, e azioni di contenimento “*a valle*”, volte a limitare le emissioni dagli effluenti prodotti.

Azioni di riduzione “ <i>a monte</i> ”	Gestione zootecnica
	Alimentazione
Azioni di riduzione “ <i>a valle</i> ”	Ricoveri
	Stoccaggio dei reflui
	Distribuzione dei reflui

Tabella 35: Linee di intervento e fasi gestionali per ridurre le emissioni di NH3 negli allevamenti

Le strategie di riduzione dell’ammoniaca attraverso l’intervento mirato sulla dieta degli animali sembra essere la strategia più efficace in quanto si va ad agire “*a monte*” della catena di produzione del gas inquinante. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso la riduzione del contenuto proteico e/o l’aggiunta di additivi in modo tale da ridurre la quantità di azoto escreto nelle deiezioni. L’escrezione di azoto totale e di azoto ammoniacale, il *pH* delle urine e del liquame possono essere ridotti attraverso la modifica della composizione della dieta e/o applicando additivi specifici alla dieta (Canh et al. 1998; Bakker e Smits, 2002; Cole et al. 2005; Oenema et al. 2007; UNECE, 2014). In più, nei bovini da latte, l'utilizzo di aminoacidi, come lisina e metionina può essere utile per migliorare l’equilibrio nella composizione amminoacidica della proteina digerita dall’intestino tenue (come ampiamente discusso nei paragrafi 4.4.1 e 4.4.2).

La riduzione dell’escrezione di ammoniaca nei bovini richiede quindi l’utilizzo di strategie nutrizionali capaci di abbattere la quantità di azoto escreto nelle deiezioni.

La gestione delle deiezioni animali passa attraverso tre fasi fondamentali racchiuse nelle azioni da attuare “*a valle*” e più precisamente:

- Ricoveri
- Stoccaggio
- Spandimento

Tutti questi passaggi provocano emissioni di gas ad effetto serra come metano e protossido di azoto nonché emissioni di ammoniaca sia all’interno che all’esterno della struttura aziendale deputata all’allevamento di bestiame.

2.6.1 – Ricoveri bovini



Figura 16: Bovini allevati in un ricovero con corsia di alimentazione centrale

La produzione di metano nei ricoveri animali, maggiormente presente negli allevamenti di bovini e in minor quantità in quelli suini, è dovuta principalmente all'attività ruminale (*L'attività ruminale consiste nel ritorno in bocca delle parti grossolane dell'alimento contenuto nel rumine ed ha lo scopo di permettere una nuova masticazione ed un'ulteriore insalivazione*).

La matrice organica presente nel refluo zootecnico, in condizioni di temperature ed umidità che le permettono di decomporsi, e a seconda del tempo di permanenza delle deiezioni all'interno del ricovero, produce Metano, Ammoniaca e Protossido di Azoto; oltre alle feci, gli animali producono urine che, in contatto con la superficie del ricovero (e in condizioni favorevoli), emettono Ammoniaca.

Alla luce di quanto sopra esposto, si ritiene opportuno ricordare che, all'interno del *Progetto LIFE GASOFF* finanziato dalla Comunità Europea è emerso che analizzando le diverse tipologie di stabulazione per vacche da latte, si nota che l'impatto ambientale è alto nelle aziende dove l'allontanamento delle deiezioni avviene con raschiatori su pavimentazione piena, pertanto si consiglia l'ausilio di una pavimentazione gommata nei corridoi di passaggio poiché permette una maggiore efficienza di pulizia dei raschiatori garantendo una riduzione delle emissioni di ammoniaca e metano (*Baldini et al – 2012*).

Analizzando i dati riportati in tabella 36, si può notare come la stabulazione su lettiera permanente e con rimozione delle deiezioni non frequente, se non addirittura "saltuaria", porta ad un'emissione notevole dei noti gas inquinanti.

Pertanto si può sottolineare che le aziende zootecniche che hanno effettuato il ricorso ad una pavimentazione fessurata o con sistema flushing per la rimozione delle deiezioni sono quelle che hanno prodotto un ridotto contenuto di emissioni.

[“Il flushing permette una maggiore diluizione delle urine sulla pavimentazione e del liquame nelle vasche di raccolta” (Groeneistein et al. – 2011)].

Tipologia di stabulazione	NH ₃ (g/capo/gg)	CH ₄ (g/capo/gg)	N ₂ O (g/capo/gg)
RIFERIMENTO: Stabulazione fissa con rimozione delle deiezioni con raschiatore meccanico (2 volte al giorno)	48,6 (100%)	485 (100%)	0,47 (100%)
Stabulazione libera su lettiera permanente più rimozione ogni 6 settimane (12,4 m²/capo)	60 (123%)	643 (132%)	0,87 (185%)
Stabulazione libera su lettiera permanente più rimozione ogni 6 settimane (9,7 m²/capo)	97,3 (162%)	713 (147%)	0,43 (91%)

Tabella 36: Valori di emissione fra diverse tipologie di stabulazione per bovini (Report – Analisi del contesto Veneto riguardo le emissioni di gas climalteranti e di ammoniaca dal comparto agricolo-zootecnico – 2014)

In tabella 37 che segue sono riportate le percentuali di riduzione dell’Ammoniaca, in relazione alla modalità di stabulazione adottata negli allevamenti bovini, con particolare riferimento alla tipologia di pavimentazione utilizzata.

Tipologia di stabulazione	NH ₃
RIFERIMENTO: Stabulazione su fessurato	100%
Stabulazione su fessurato con ricircolo liquami	33%
Stabulazione con pavimentazione piena con pendenza del 3%	79%
Stabulazione con pavimentazione piena con pendenza del 3% più raschiatore	52%

Tabella 37: Valori delle riduzioni di emissioni di ammoniaca fra diverse tipologie di stabulazione con pavimentazione fessurata per allevamenti di bovini (Swierstra et al., 1995 – Mrad 2014)

Il contenimento delle emissioni con l’uso della lettiera, per le stabulazioni dei bovini, dipenderà non solo dalla tipologia della lettiera ma anche dal tasso di infiltrazione delle urine, dall’area disponibile per animale, dalle quantità di urine per animale, dalla dieta dell’animale, dalla temperatura e velocità dell’aria sovrastante lo strato superiore della lettiera, nonché dal tasso di fermentazione e compostaggio della lettiera. Sarà importante quindi tenere sotto controllo il processo di nitrificazione-denitrificazione (*assenza di ossigeno nello strato inferiore della lettiera e presenza di ossigeno nello strato superiore della medesima*) al fine di evitare la formazione di N₂O.

Con la pavimentazione in gomma, inoltre, si potrebbero ridurre le emissioni di ammoniaca riducendo l'attività di ureasi in quanto un minor quantitativo di batteri si svilupperebbero sulla superficie della pavimentazione (Aarnink, 1997; Aarnink e Elzing, 1998; Monteny e Erisman, 1998); inoltre il pH dell'urina incanalata all'interno delle pozzette della superficie gommata potrebbe diminuire da 0,1 a 0,3 unità in comparazione con le pozzette di urine presenti su pavimentazioni piene. Per di più, quando la pavimentazione non è pendente, le emissioni di ammoniaca dalla pavimentazione regolare sono più importanti, in quanto sia la superficie che la profondità delle pozzette di raccolta delle urine sono massimizzate. Al fine di facilitare la rapida eliminazione delle urine, la pendenza della pavimentazione deve essere del 2% o 3% rispetto alle pozzette di raccolta delle urine. Il liquame viene rimosso dalla pavimentazione almeno ogni 2 ore con l'ausilio di un raschiatore (dotato di raschino di gomma).

Parte dell'urina drenata verrà raccolta nelle pozzette di raccolta riducendo così la produzione di NH_3 dalla superficie della pavimentazione, in quanto viene ridotto il volume delle urine nelle pozzette, la durata di esposizione dell'urina all'attività di ureasi sulla superficie del ricovero, nonché la durata di esposizione al flusso di aria sovrastante la pavimentazione (Groenestein et al. - 2011).

Analizzando i dati di tabella 38 sottostante, si nota che la tipologia di pavimento utilizzato produce buoni risultati in termini di riduzioni emissive, ma possiamo altresì dire che la tecnica (forse più efficace) e sicuramente più comune per l'abbattimento dell'Ammoniaca, è l'applicazione di sistemi di depurazione dell'aria; tale metodologia permette che venga rimossa l'ammoniaca dall'aria esausta nei ricoveri animali. Si possono usare sia depuratori biologici che chimici, ottenendo una buona resa in termini di pulizia dell'aria (Melse et al. – 2009; UNECE 2014).

Tipologia di stabulazione	Riduzione (%)	Emissioni di NH_3 (kg/posto stalla/anno)
Cucette (sistema di riferimento)	n.a.	12
Stabulazione fissa (sistema tradizionale di riferimento)	n.a.	4,8
Pavimento scanalato	25-46	9
Climatizzazione delle stalle ed isolamento dei tetti ottimale	20	9,6
Depuratori d'aria (chimici) – solo nei sistemi con ventilazione forzata	70-95	1,2

Tabella 38: Emissioni di ammoniaca e percentuali di riduzione dai diversi sistemi di stabulazione ed interventi nei ricoveri bovini (UNECE, 2014)

2.6.2 – Stoccaggio delle deiezioni nel settore bovino



Figura 17: Letamaio per lo stoccaggio delle deiezioni palabili

Negli allevamenti del comparto bovino è presente una lettiera, che viene adottata come una sorta di stoccaggio “in loco”, in quanto il ricovero stesso funge da struttura di stoccaggio per la durata necessaria fino alla rimozione delle deiezioni. Com’è ormai noto, dalle deiezioni vengono rilasciati gas inquinanti come l’ammoniaca, la quale viene rilasciata a seguito della decomposizione dell’azoto presente nei reflui sotto forma di perdite gassose. Queste condizioni sono favorite in presenza di un numero elevato di animali allevati in ambiente confinato come ad esempio nelle stalle di bovini da latte e da carne, laddove le deiezioni vengono tipicamente depositate sotto forma di cumuli oppure conservate in lagune o vasche di stoccaggio.

La *Guidance* prodotta dalle Nazioni Unite (UNECE, 2014) ha previsto alcune tecniche di mitigazione per la riduzione delle emissioni di ammoniaca negli stoccaggi e, anche in questo caso, fissando una situazione di riferimento con la quale verranno comparate altre tecniche disponibili ed il loro effetto sull’abbattimento dell’ammoniaca stessa. La situazione base per stimare le emissioni di NH_3 provenienti dagli stoccaggi è quindi quella delle strutture di accumulo senza avere una copertura in superficie.

Le azioni di mitigazione da applicare negli stoccaggi sono le stesse applicate (o da applicare) nei ricoveri, ovvero la riduzione della superficie di contatto fra aria e liquame, la riduzione della velocità dell’aria al di sopra della superficie del liquame e la copertura delle fosse o vasche di stoccaggio. Le coperture possono essere di tipo flottanti, a telo o rigide.

Per quanto riguarda lo stoccaggio del solido, la copertura del cumulo con teli di plastica permette una riduzione di tutte le emissioni gassose.

I vantaggi che si possono trarre dall'utilizzo delle coperture rigide riguardano soprattutto la prevenzione delle precipitazioni riducendo quindi i volumi dei percolati e dei colaticci nonché i costi di trasporto. L'utilizzo di coperture fisse permette inoltre il contenimento degli odori nonché del metano e del protossido di azoto. Riguardo lo stoccaggio delle frazioni liquide, il liquame viene comunemente conservato all'interno di vasche in cemento o in acciaio oppure all'interno di silos o nelle lagune sopraelevate. È stato comunque provato che l'utilizzo delle strutture con coperture rigide oppure con teli, sia la soluzione più praticabile e che permette la riduzione delle emissioni di gas dagli stoccaggi. Le coperture devono comunque prevedere la possibilità di essere aerate per evitare l'accumulo di gas infiammabili quale il metano. Le coperture flottanti, di plastica, tela, geotessile, o altro tipo di materiale idoneo, sono maggiormente utilizzate per le piccole lagune sopraelevate ma difficilmente applicabili su vasche.

È utile sottolineare che minimizzando l'agitazione e la miscelazione dei liquami ed aggiungendo nuovo liquame dalla parte inferiore della vasca anziché dalla superficie della vasca stessa, si ottiene la formazione di una crosta sulla superficie di stoccaggio a contatto con l'aria, che favorisce una riduzione significativa delle emissioni di ammoniaca a costi nulli. È altresì importante puntualizzare che sarebbe buona prassi, quella di minimizzare le perdite di ammoniaca anche durante lo spandimento delle deiezioni provenienti dagli stoccaggi coperti, pena la perdita dei benefit ottenuti.

Nella tabella 39 vengono riportate le percentuali di riduzione dell'inquinante ammoniaca, in relazione alla misura di abbattimento adottata e alla sua modalità di applicazione.

Misura di abbattimento	Riduzione delle Emissioni di NH ₃ (%)	Applicazione
Stoccaggio senza copertura o crosta (riferimento)	0	-
Struttura rigida, tettoia o tenda	80	Vasche in CA o in acciaio
Coperture flottanti	25-46	Piccole lagune sopraelevate
Formazione di crosta naturale riducendo le miscelazioni e il caricamento di nuovo liquame dall'alto (copertura flottante)	40	Solo per liquami con alto contenuto fibroso. Non applicabile per le aziende laddove è necessario la miscelazione e la rottura della crosta naturale per lo spandimento frequente.
Sostituzione delle lagune con strutture coperte o con strutture aperte con pareti alte (profondità >3)	30-60	Solo per nuove strutture
Saccone	100	Le dimensioni dei sacconi potrebbero limitarne l'uso per grosse aziende zootecniche

Palline di “LECA” (coperture flottanti)	60	Non applicabile per i liquami che formano croste
Altre coperture flottanti (citsaIP sheeting)	60	Per lagune grandi sopraelevate vasche in CA o in acciaio.
Altro materiale flottante di copertura (cippato di legno, paglia trinciata, ecc.)	40	Applicabile in vasca in CA o in acciaio. Potrebbe non essere applicabile nelle lagune grandi sopraelevate. Non applicabile se il materiale utilizzato in copertura limita la gestione del liquame (per lo spandimento).

Tabella 39: Misure di mitigazione per l’abbattimento dell’ammoniaca dagli stoccaggi (UNECE, 2014)

2.6.3 – Spandimento dei reflui zootecnici provenienti dal comparto bovino



Figura 18: Spandimento in campo per utilizzazione agronomica

L'azoto ed il fosforo sono generalmente i nutrienti limitanti nell'applicazione dei liquami al campo. L'applicazione di livelli che superano i fabbisogni nutrizionali delle piante può portare ad un eccesso di nutrienti nelle acque superficiali o in quelle di falda, e quindi portare ad un problema di inquinamento delle acque. Infatti, la *Direttiva Nitrati* prevede delle limitazioni, tanto che per le zone vulnerabili non si può superare un quantitativo di azoto per ettaro pari a 170 Kg.

Quanto appena detto fa da corollario alla questione relativa ai metodi di applicazione degli effluenti sui terreni, i quali influenzano la quantità di nutrienti che diventa disponibile alla radice della pianta. La maggior parte delle perdite avvengono entro 24 ore dall'applicazione sul campo, perciò sarebbe buona pratica incorporare il liquame il più presto possibile dopo la sua applicazione (*ERVET, 2005; Regione del Veneto, 2011; UNECE, 2014*).

Oltre alla perdita di nutrienti, durante l'applicazione delle deiezioni al campo, vengono emessi ammoniaca e successivamente protossido di azoto, principalmente a seguito della manipolazione dei reflui e della loro messa a contatto con l'aria circostante che permette la diffusione. Ridotte quantità di metano possono svilupparsi a seguito dell'applicazione al campo ma solo se vengono a stabilirsi condizioni di fermentazione in anaerobiosi.

I fattori che influenzano la volatilizzazione dell'ammoniaca dall'applicazione delle deiezioni sul campo possono essere dovuti alle proprietà chimiche e fisiche del liquame, ai fattori meteorologici,

nonché all'interazione fra liquame, suolo e pianta (Sommer e Hutchings, 2001; Groenestein et al. - 2011).

La riduzione delle emissioni di NH₃ può essere realizzata influenzando i diversi percorsi nel processo di volatilizzazione dell'ammoniaca e più precisamente condizioni meteorologiche diverse, come ad esempio la velocità dell'aria, le radiazioni solari, temperatura dell'aria, un loro aumento comporta un aumento della volatilizzazione dell'ammoniaca; allo stesso modo determinate caratteristiche del liquame, come ad esempio il pH, contenuto della sostanza secca, azoto totale ammoniacale, un loro aumento o decremento determina una maggiorazione o diminuzione della volatilizzazione dell'ammoniaca.

Lo spandimento in bande sulla superficie del terreno può essere realizzato attraverso l'utilizzo di attrezzi chiamati "trailing hose" oppure con l'ausilio dei cosiddetti "trailing shoe". Trattasi di attrezzi che sono differenziabili fra di loro grazie alla presenza (nel trailing shoe) e l'assenza (nel trailing hose) del "shoe" ovvero del "piede" all'attacco di ogni tubo di distribuzione del liquame che scorre (o galleggia) sulla superficie del terreno, esercitando poca o nessuna penetrazione diretta nel suolo. Si può comunque affermare che l'efficienza del *trailing shoe* rispetto al *trailing hose* è maggiore poiché limita la contaminazione delle vegetazioni con il liquame applicato.

Entrambi gli attrezzi permettono comunque uno spandimento preciso senza creare contaminazioni nei terreni adiacenti e, cosa non di secondaria importanza, danno la possibilità di ottenere una riduzione delle emissioni di ammoniaca che va dal 30% al 60% rispetto ad una situazione di riferimento che può essere lo spandimento a pieno campo senza interrimento.

La tabella 40 specifica quali sono le positività e negatività dei principali quattro metodi di spandimento delle deiezioni in agricoltura.

	<i>Pieno campo</i>	<i>Trailing Hose</i>	<i>Iniezione</i>	<i>Trailing Shoe</i>
Distribuzione liquame	Molto irregolare	Regolare	Regolare	Regolare
Rischio volatilizzazione Ammoniaca	Alto	Medio	Basso o nullo	Medio
Rischio contaminazione vegetazione	Alto	Medio	Basso	Basso
Rischio deriva del vento	Alto	No	No	No
Rischio odori	Alto	Medio	Basso o nullo	Medio
Capacità spandimento	Alto	Alto	Basso	Basso
Larghezza di lavorazione (m)	6-10	12-28	6-12	6-16
Danni meccanici di coltivazione	Nessuno	Nessuno	Alto	Medio
Costo applicazione	Basso	Medio	Alto	Alto
Quantità di liquame visibile	La maggior parte	Alcuna	Poca o nulla	Alcuna
Adatto a	Tutte le colture	Colture invernali	Prati, suolo nudo	Prati

Tabella 40: Raccolta delle principali caratteristiche di quattro metodi di spandimento (Sommer et al. - 2013)

Una buona riduzione dei livelli di emissioni di ammoniaca si raggiunge con la tecnica dell'incorporamento del letame e del liquame nel suolo; i livelli più alti di abbattimento di ammoniaca vengono raggiunti quando il refluo viene completamente e rapidamente interrato, con effetti potenzialmente positivi anche in termini di riduzione del protossido di azoto. Tale tecnica è applicabile sui terreni coltivabili e prima della semina ma non è realizzabile sui prati permanenti.

L'incorporazione immediata da un livello di performance in termini di abbattimento delle emissioni ottimale, tuttavia può ritenersi soddisfacente anche il risultato che si può ottenere con l'incorporazione dopo 4 ore dallo spandimento (riduzione del 65%) e con l'incorporazione dopo entro le 24 ore (30%). Tali pratiche di incorporazione non immediata risultano confacenti con le potenzialità operative delle piccole aziende agricole, le quali dovranno predisporre il loro "Piano di Utilizzazione Agronomica" (PUA).

In tabella 41 che segue, sono riportate le percentuali di riduzione delle emissioni ammoniacali in seguito alle modalità di spandimento delle deiezioni, sia per quanto riguarda i liquami sia per quello che concerne la frazione solida.

<i>Misura di abbattimento</i>	<i>Applicazione</i>	<i>Riduzione delle Emissioni di NH₃ (%)</i>	<i>Interazioni</i>
Spandimento della frazione liquida			
Spandimento in bande con il Trailing Hose	L'effetto della riduzione di NH ₃ aumenta con l'aumento della copertura vegetativa	30% a 35%	Dipende dalla precisione di spandimento e dalla estensione della contaminazione della coltura con il liquame
Spandimento in bande con il Trailing Shoe	Profondità dell'iniezione ≤ 5 cm	30% a 60%	Dipende dalla precisione di spandimento e dalla estensione della contaminazione della coltura con il liquame
Iniezione del liquame (solchi aperti)	Profondità dell'iniezione ≤ 5 cm	70%	Rischio di aumento di N ₂ O
Iniezione del liquame (solchi chiusi)	80% (solchi superficiali 5-10 cm) a 90% (iniezione profonda > 15 cm)	80% a 90%	Rischio di aumento di N ₂ O
Incorporazione del liquame applicato in superficie	Se immediata (con aratura): 90% Se immediata con dischi: 70% Se dopo 4h: da 45% a 65% Se dopo 24h: 30%	30% a 90%	-

Diluizione del liquame da < 4% SS a > 2% SS ed utilizzo in fertirrigazione	La riduzione delle emissioni di NH ₃ è proporzionata alla variazione della diluizione. 50% della SS del liquame permette una riduzione del 30% di NH ₃	30%	-
---	---	-----	---

Spandimento della frazione solida (tutti gli allevamenti)

Incorporazione del solido scaricato in superficie	Se immediata (con aratura): 90% Se immediata con dischi: 60% Se dopo 4h: da 45% a 65% Se dopo 12h: 50% Se dopo 24h: 30%	30% a 90%	Dipende dal grado di interrimento del solido, del tempo impiegato per l'interrimento, delle condizioni climatiche fra l'applicazione e l'incorporazione.
--	---	-----------	--

Tabella 41: Tecniche di spandimento delle deiezioni ed impatto sulle emissioni di ammoniaca (UNECE, 2014)

Relativamente alla tecnica di iniezione del liquame direttamente nel terreno (tabella 41), esiste l'iniezione a solchi aperti e quella a solchi chiusi; tra le due applicazioni, non è difficile intuire che la performance migliore in termini di emissioni di ammoniaca, si raggiunge con l'iniezione a solchi chiusi, dove il liquame, una volta iniettato nel terreno, viene coperto chiudendo i solchi con dei rulli che esercitano una buona pressione sul terreno.

3 – ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

Sulla base dei dati raccolti e specificati nei capitoli precedenti, in questa fase viene fatta un'elaborazione degli stessi proponendo degli approcci operativi atti a fornire una quantificazione delle effettive riduzioni emissive dell'Ammoniaca (NH_3) prodotta da tutte le categorie di allevamenti intensivi analizzati fin qui; in particolar modo verrà fatta un'analisi basata degli allevamenti stessi, sulla base delle dimensioni degli stabilimenti, suddivisi in piccoli, medi e grandi allevamenti.

La tabella 42 che segue, racchiude la raccolta dei valori di emissione dell'ammoniaca prodotta (espressa in kg/capo*anno) dalle varie categorie animali; la tabella è utile per avere una misurazione di come è suddivisa la quantità totale di ammoniaca prodotta dagli allevamenti, specificando i valori provenienti dalle fasi di stabulazione, stoccaggio e spandimento.

Categoria Animale	NH_3 (kg/(capo*anno))			
	Stabulazione	Stoccaggio	Spandimento	Totale
Suini da ingrasso	2,38	1,70	1,28	5,36
Scrofe gestanti	4,86	3,58	2,69	11,13
Scrofe partorienti (inclusi maialini da latte)	4,86	3,58	2,69	11,13
Suinetti	2,41	2,08	1,39	5,88
Polli da carne	0,08	0,05	0,03	0,16
Galline ovaiole	0,09	0,06	0,04	0,19
Vacche da latte	16,73	18,40	11,79	46,92
Altri Bovini	7,60	8,60	5,59	21,79

Tabella 42: Valori di emissione per singole categorie di allevamento - ISPRA Report 2019

3.1 – MIGLIORI TECNOLOGIE DI STABULAZIONE E GESTIONE DEI REFLUI PER LE GALLINE OVAIOLE E I POLLI DA CARNE

Nello specifico di questo paragrafo si vanno ad elencare le varie tecniche e tecnologie disponibili, attuabili nella gestione delle varie fasi di allevamento, con particolare riferimento alle specie avicole trattate, appartenenti, pertanto, al gruppo delle galline ovaiole e dei polli da carne.

In particolare nella tabella 43 è visibile come determinati approcci e accorgimenti operativi, riescono a generare una riduzione percentuale (talvolta range di riduzione percentuale) delle emissioni di NH₃ espresse in kg/capo*anno.

Categoria Animale	Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui	Riduzioni %	Emissioni Totali NH₃ (kg/(capo*anno))	Emissioni Totali NH₃ in seguito a BAT (kg/(capo*anno))
Galline ovaiole	Riferimento - Gabbie convenzionali, stoccaggi aperti sottostanti e non aerati	0	0,15	
	Gabbie convenzionali, stoccaggi aperti sottostanti e aerati	30		0,105
	Gabbie convenzionali, rimozione ed allontanamento rapidi delle deiezioni con tunnel	50-80		0,075-0,03
	Depurazione dell'aria esausta	70-90		0,045-0,015
	Riferimento – Rimozione con tunnel, due volte a settimana	0	0,15	
	Tunnel ventilati, due volte a settimana	30-40		0,105-0,09
	Tunnel ventilati, rimozione più di due volte a settimana	35-45		0,098-0,083
	Depurazione dell'aria esausta	70-90		0,045-0,015
	Riferimento – Lettieria o vasca profonda con lettiera parziale	0	0,15	
	Voliere, tunnel non ventilati	70-85		0,045-0,023
	Voliere, tunnel ventilati	80-95		0,03-0,0075
	Depuratori dell'aria esausta	70-90		0,045-0,015
	Lettiera, parzialmente fessurata, tunnel	75		0,04
	Lettiera con ventilazione forzata	40-60		0,09-0,06
	Aggiunta regolare di solfato d'alluminio alla lettiera	70		0,045
	Riferimento – Lettieria, ricovero con ventilazione	0	0,13	
	Ricovero naturalmente ventilato oppure isolato e	20-30		0,104-0,09

Polli da Carne	ventilato con pavimento totalmente ricoperto di lettiera ed equipaggiato di un sistema di abbeveraggio anti-spreco			
	Lettiera con ventilazione interna forzata	40-60		0,08-0,05
	Depuratori dell'aria esausta	70-90		0,04-0,013
	Pavimento pieno e ventilazione forzata	90		0,013
	Pavimentazione rimovibile, ventilazione forzata	90		0,013
	Pavimento riscaldato e raffreddato cosparso di lettiera (Sistema combi deck)	40		0,08

Tabella 43: Interventi mitigatori per gli avicoli e relative riduzioni emissive di ammoniaca

Analizzando i dati e le riduzioni esplicitate in tabella 43, questo studio propone come riferimento operativo, corrispondente al valore di riduzione 0%, una modalità di stabulazione convenzionale che prevede stoccaggi aperti e non aerati piuttosto che una gestione del refluo che prevede una rimozione poco frequente delle deiezioni animali a cui sono associati dei valori emissivi relativi alla sommatoria delle fasi di stabulazione e stoccaggio di cui in tabella 42.

3.2 – MIGLIORI TECNOLOGIE DI STABULAZIONE E GESTIONE DEI REFLUI PER LA CATEGORIA SUINICOLA

In questa fase vengono trattate le emissioni ammoniacali “pre e post” BAT relativamente agli allevamenti suinicoli e con specifico riferimento alle categorie delle scrofe gestanti e partorienti, dei suinetti post-svezzamento e dei suini da ingrasso. Nella tabella 37 che segue sono riportate le migliori tecniche disponibili attuabili per la stabulazione e lo stoccaggio dei reflui, mettendo in campo un confronto tra i metodi tradizionali e quelli più innovativi, in linea con gli approcci definiti dalle Direttive Europee già menzionate e trattate in questo documento.

I valori emissivi relativi alle varie voci definite come “riferimento” sono il risultato delle emissioni quantificate nella fase di stabulazione e in quella di stoccaggio (vedi tabella 42).

Categoria Animale	Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui	Riduzioni %	Emissioni Totali NH₃ (kg/(capo*anno))	Emissioni Totali NH₃ in seguito a BAT kg/capo*anno
	Riferimento – Stalla tradizionale	0	4,86	

Scrofe gestanti	Rimozione frequente del liquame con vacuum system	25		3,65
	Flushing	40		2,92
	Raffreddamento della superficie del liquame (riferimento 3,58 kg/(capo*anno))	45		1,97
	Ricoveri con zone di alimentazione e vasche di raccolta con pareti inclinate	45		2,67
	Palle flottanti sopra il liquame (riferimento 3,58 kg/(capo*anno))	25		2,69
	Depuratori dell'aria	70-90		1,46-0,49
Scrofe in allattamento	Riferimento – Stalla tradizionale	0	4,86	
	Canale acqua-liquame	50		2,43
	Vasca di raccolta sottostante	65		1,70
	Raffreddamento della superficie del liquame (riferimento 3,58 kg/(capo*anno))	45		1,97
	Palle flottanti sopra il liquame (riferimento 3,58 kg/(capo*anno))	25		2,69
	Depuratori dell'aria	70-90		1,46-0,49
Suinetti post-svezzamento	Riferimento – Stalla tradizionale	0	2,41	
	Pavimento parzialmente grigliato con vasca di raccolta ridotta	25-35		1,81-1,57
	Rimozione frequente del liquame con vacuum system	25		1,81
	Pavimento parzialmente grigliato e flushing	65		0,84
	Pavimento parzialmente grigliato e raccolta in liquido acidificato	60		0,96
	Pavimento parzialmente grigliato e raffreddamento della superficie del liquame (riferimento 2,41 kg/(capo*anno) + 2,08 kg/(capo*anno) = 4,49 kg)	75		1,12
	Pavimento parzialmente grigliato e canale del liquame con pareti inclinate	65		0,84
	Palle flottanti sopra il liquame (riferimento 2,08 kg/(capo*anno))	25		1,56
	Depuratori dell'aria	70-90		0,72-0,24
	Riferimento – Stalla tradizionale	0	2,38	
	Pavimento parzialmente grigliato con vasca di raccolta ridotta	15-20		2,02-0,2
	Rimozione frequente del liquame con vacuum system	25		1,79

Suini all'ingrasso	Pavimento parzialmente grigliato con canale acqua-liquame	40		1,43
	Pavimento parzialmente grigliato con canale acqua-liquame e pareti inclinate	60-65		0,95-0,83
	Flushing	40		1,43
	Pavimento parzialmente grigliato e raffreddamento della superficie del liquame (riferimento 2,38 kg/(capo*anno) + 1,70 kg/(capo*anno) = 4,08 kg)	45		2,24
	Palle flottanti sopra il liquame	25		1,28
	Pavimento parzialmente grigliato e separazione frazione liquida/solida del liquame con canalette a V	70		0,72
	Depuratori dell'aria	70-90		0,72-0,51

Tabella 44: Percentuali di riduzione e relative emissioni di NH₃ in relazione all'applicazione delle BAT-AEL per allevamenti suinicoli

Esaminando i dati contenuti nella tabella 44, si nota come tra le varie tecnologie adottabili negli allevamenti suinicoli, quella che fornisce buoni risultati in termini di riduzioni percentuali dell'ammoniaca emessa è il pavimento parzialmente grigliato, il quale associato a tecniche di raccolta dei liquami e separazione delle frazioni liquide e solide, genera ottimi valori di riduzione dell'NH₃. Molti studi sostengono infatti che l'efficienza di un pavimento grigliato è elevata quando si riesce a ridurre il trasferimento dell'ammoniaca dal liquame all'area di raccolta, prevenendo lo scambio di aria fra la pavimentazione sovrastante del ricovero e la vasca sottostante (il cosiddetto sotto-grigliato). Quest'ultimo è generalmente coperto e dotato di aperture laterali dove vengono raccolte le deiezioni e convogliate nella vasca di raccolta del sotto-grigliato (*Braam et al. 1997; Groenestein et al. 2011*).

3.3 – MIGLIORI TECNOLOGIE DI STABULAZIONE E GESTIONE DEI REFLUI PER GLI ALLEVAMENTI DEL COMPARTO BOVINO

Attraverso i dati raccolti e racchiusi nelle tabelle 45 e 46 che seguono, è possibile, in questa fase, verificare quali sono le migliori tecniche di stabulazione e di gestione dei reflui per gli allevamenti delle diverse categorie bovine, facendo focus sul gruppo delle vacche da latte e sugli altri tipi bovini (definiti "altri bovini").

Il contenimento delle emissioni per le stabulazioni di bovini, dipende non solo dalla tipologia di lettiera ma anche dal tasso di infiltrazione delle urine, dall'area disponibile per animale, dalle quantità di urine per animale, dalla dieta, dalla temperatura e velocità dell'aria sovrastante lo strato superiore della lettiera, e dal tasso di fermentazione e compostaggio della lettiera. È importante quindi tenere sotto controllo il processo di nitrificazione-denitrificazione (*assenza di ossigeno nello*

strato inferiore della lettiera e presenza di ossigeno nello strato superiore della medesima), al fine di evitare la formazione di N₂O.

Pertanto una pavimentazione dotata di una pendenza (pari al 2/3 %) utile a favorire la rimozione dell'urina, riduce la produzione di ammoniaca dalla superficie della pavimentazione grazie alla minor durata di esposizione dell'urina stessa all'attività di ureasi sulla superficie del ricovero, nonché la riduzione della durata di esposizione al flusso di aria sovrastante la pavimentazione (Groenestein et al., 2011).

Categoria Animale	Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui	Riduzioni %	Emissioni NH₃ (kg/(capo*anno))
Vacche da latte	Riferimento - Cuccette	0	16,73
	Riferimento – Stabulazione fissa	0	16,73
	Pavimento scanalato	25	12,55
	Climatizzazione delle stalle ed isolamento dei tetti ottimale	20	13,39
	Raschiatore con incremento della frequenza di pulizia pari a 6 volte al giorno	25	12,55
	Depuratori d'aria (chimici) – solo nei sistemi con ventilazione forzata	90	1,67
Vacche da latte	Riferimento – Stoccaggio senza copertura o crosta	0	18,40
	Struttura rigida, tettoia o tenda	80	3,7
	Coperture flottanti	25-45	13,8-10,12
	Formazione di crosta naturale riducendo le miscele e il caricamento di nuovo liquame dall'alto (copertura flottante)	40	11,04
	Sostituzione delle lagune con strutture coperte o con strutture aperte con pareti alte (profondità >3)	30-60	12,9-7,4
	Saccone	100	0
	Palline di "LECA" (copertura flottante)	60	7,4
	Altro materiale flottante di copertura (cippato di legno, paglia trinciata, ecc)	40	11,04
Vacche da latte	Riferimento – Spandimento con tecnica base, distribuzione con carro botte con piatto deviatore	0	11,79
	Spandimento in bande con il Trailing Hose	30-35	8,3-7,7
	Spandimento in bande con il Trailing Shoe	30-60	8,3-4,72
	Iniezione del liquame (solchi aperti)	70	3,54
	Iniezione del liquame (solchi chiusi)	80-90	2,4-1,18
	Incorporazione del liquame applicato in superficie	30-90	8,3-1,18

	Diluizione del liquame da < 4% SS a > 2% SS ed utilizzo in fertirrigazione	30	8,3
Vacche da latte	Riferimento – Incorporazione con tecnica base	0	11,79
	Incorporazione del solido scaricato in superficie con aratura immediata	90	1,18
	Incorporazione del solido scaricato in superficie, immediata con dischi	60	4,72
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 4 ore	45-65	6,5-4,13
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 12 ore	50	5,90
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 24 ore	30	8,3

Tabella 45: Percentuali di riduzione e relative emissioni di NH₃ in relazione all'applicazione delle BAT-AEL per allevamenti di vacche da latte

Come già accennato, la tabella 46 che segue racchiude le migliori tecniche disponibili e le relative riduzioni percentuali di ammoniaca, attuabili e riscontrabili negli allevamenti bovini definiti "Altri bovini".

Categoria Animale	Migliori Tecnologie di stabulazione e gestione dei reflui	Riduzioni %	Emissioni NH₃ (kg/(capo*anno))
Altri Bovini	Riferimento - Cuccette	0	7,60
	Riferimento – Stabulazione fissa	0	7,60
	Pavimento scanalato	25	5,7
	Climatizzazione delle stalle ed isolamento dei tetti ottimale	20	6,08
	Depuratori d'aria (chimici) – solo nei sistemi con ventilazione forzata	90	0,76
Altri Bovini	Riferimento – Stoccaggio senza copertura o crosta	0	8,60
	Struttura rigida, tettoia o tenda	80	1,72
	Coperture flottanti	25-45	6,45-4,73
	Formazione di crosta naturale riducendo le miscele e il caricamento di nuovo liquame dall'alto (copertura flottante)	40	5,16
	Sostituzione delle lagune con strutture coperte o con strutture aperte con pareti alte (profondità >3)	30-60	6,02-3,44
	Saccone	100	0
	Palline di "LECA" (copertura flottante)	60	3,44
	Altro materiale flottante di copertura (cippato di legno, paglia trinciata, ecc)	40	5,16
	Riferimento – Spandimento con tecnica base, distribuzione con carro botte con piatto deviatore	0	5,59

Altri Bovini	Spandimento in bande con il Trailing Hose	30-35	3,91-3,64
	Spandimento in bande con il Trailing Shoe	30-60	3,91-2,24
	Iniezione del liquame (solchi aperti)	70	1,68
	Iniezione del liquame (solchi chiusi)	80-90	1,12-0,56
	Incorporazione del liquame applicato in superficie	30-90	3,91-0,56
	Diluizione del liquame da < 4% SS a > 2% SS ed utilizzo in fertirrigazione	30	3,91
Altri Bovini	Riferimento – Incorporazione con tecnica base	0	5,59
	Incorporazione del solido scaricato in superficie con aratura immediata	90	0,56
	Incorporazione del solido scaricato in superficie, immediata con dischi	60	2,24
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 4 ore	45-65	3,07-1,95
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 12 ore	50	2,80
	Incorporazione del solido scaricato in superficie dopo 24 ore	30	3,91

Tabella 46: Percentuali di riduzione e relative emissioni di NH₃ in relazione all'applicazione delle BAT-AEL per allevamenti bovini

3.4 – CLASSIFICAZIONE DEGLI ALLEVAMENTI IN RELAZIONE ALLE DIMENSIONI PREVISTE DALLE NORMATIVE

Questa sezione del documento, si pone come obiettivo quello di andare a classificare gli allevamenti delle categorie animali studiate in base alle dimensioni degli stabilimenti, distinguendoli in Piccoli, Medi e Grandi allevamenti.

Le normative vigenti, Comunitarie e Nazionali, definiscono quali sono gli spazi, dei ricoveri, necessari a garantire il benessere degli animali, in relazione appunto ai metri quadri per capo e alle tipologie di allevamento adottate (intensivo o biologico).

3.4.1 – Dimensioni allevamenti intensivi suinicoli e relative emissioni annue per capo di bestiame

➤ ALLEVAMENTO PER I SUINI DA INGRASSO

In questa fase andiamo ad analizzare il totale annuo delle emissioni di ammoniaca di tre tipi di allevamento, distinti in base alle dimensioni degli stessi, definendo, pertanto, quali sono le superfici necessarie per la stabulazione dei suini da ingrasso e le relative emissioni valutate su base unitaria e totale annue per le tre principali fasi di stabulazione, ovvero il ricovero, lo stoccaggio e lo spandimento. In particolare sappiamo che, come previsto dalla Direttiva CE 2008/120, per gli

allevamenti in oggetto la superficie libera per i suini allevati in gruppo, aventi peso vivo superiore a 110 kg, deve essere di almeno **1 m² a capo**.

L'elenco sottostante indica qual è il numero dei capi che definisce le tre grandezze degli allevamenti intensivi studiati, per i suini da ingrasso:

- *Piccole dimensioni* → n. 250 capi
- *Medie dimensioni* → n. 2400 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 6000 capi

Le tabelle 47, 48 e 49 che seguono, indicano rispettivamente i valori emissivi di ammoniaca prodotti su base unitaria dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti per i suini da ingrasso.

Stalla tradizionale		
N. suini da ingrasso	250	
Emissione base unitaria ricovero	2,38	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	595	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	1,70	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	425	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	320	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,38	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	1340,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 47: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni per i suini da ingrasso

Stalla tradizionale		
N. suini da ingrasso	2400	
Emissione base unitaria ricovero	2,38	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	5712,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	1,70	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	4080,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	3072,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,38	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	12864,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 48: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per i suini da ingrasso

Stalla tradizionale		
N. suini da ingrasso	6000	
Emissione base unitaria ricovero	2,38	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	14280,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	1,70	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	10200,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	7680,00	Kg NH ₃ per capo per anno

Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,38	Kg NH₃/m²
Emissione base TOTALE	32160,00	Kg NH₃ per anno

Tabella 49: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per i suini da ingrasso

Dalle tabelle sulle emissioni unitarie e totali annue di ammoniaca negli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni di suini da ingrasso, si può notare come le emissioni totali (esprese in Kg di NH₃ per anno), sono determinate per la maggior parte dalle emissioni di NH₃ per anno provenienti dai ricoveri, le quali rappresentano appunto l'aliquota più grande sul totale, mentre le emissioni dagli stoccaggi, e ancor più quelle provenienti dagli spandimenti, sono di minore entità ma non per questo di rilevante importanza di studio e necessità di riduzione.

➤ **ALLEVAMENTO PER LE SCROFE GESTANTI E SCROFE IN ALLATTAMENTO**

Di seguito si analizza il totale annuo delle emissioni di ammoniaca di tre tipi di allevamento, distinti in base alle dimensioni degli stessi, definendo, pertanto, quali sono le superfici necessarie per la stabulazione delle scrofe gestanti/in allattamento e le relative emissioni valutate su base unitaria e totale annue per le tre principali fasi di stabulazione, ovvero il ricovero, lo stoccaggio e lo spandimento. In particolare sappiamo che, come previsto dalla Direttiva CE 2008/120, per gli allevamenti in questione le superfici libere totali a disposizione di ciascuna scrofa dopo la fecondazione e di ognuna di esse qualora vengano allevate in gruppi, devono essere rispettivamente di almeno **1,64 m² a capo** e **2,25 m² a capo**.

Nel caso specifico si adotta una superficie libera pari a **2,25 m² a capo** in modo tale da comprendere sia l'allevamento singolo che quello in gruppo.

L'elenco sottostante indica qual è il numero dei capi che definisce le tre grandezze degli allevamenti intensivi studiati, per le scrofe gestanti e le scrofe in allattamento:

- *Piccole dimensioni* → n. 30 capi
- *Medie dimensioni* → n. 550 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 1000 capi

Le tabelle 50, 51 e 52 che seguono, indicano rispettivamente i valori emissivi di ammoniaca prodotti su base unitaria dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti per la categoria delle scrofe gestante e in allattamento.

Stalla tradizionale		
N. scrofe gestanti / scrofe in allattamento	30	
Emissione base unitaria ricovero	4,86	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	145,80	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	3,58	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	107,40	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	80,70	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,16	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	333,90	Kg NH ₃ per anno

Tabella 50: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni per le scrofe

Stalla tradizionale		
N. scrofe gestanti / scrofe in allattamento	550	
Emissione base unitaria ricovero	4,86	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	2673,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	3,58	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	1969,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	1479,50	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,16	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	6121,50	Kg NH ₃ per anno

Tabella 51: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per le scrofe

Stalla tradizionale		
N. scrofe gestanti / scrofe in allattamento	1000	
Emissione base unitaria ricovero	4,86	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	4860,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	3,58	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	3580,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	2690,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	2,16	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	11130,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 52: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per le scrofe

Conseguentemente a quanto racchiuso nelle tabelle sulle emissioni unitarie e totali annue di ammoniaca negli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni per le scrofe gestanti/in allattamento, si evince come, anche in questo caso, le emissioni totali (esprese in Kg di NH₃ per anno) sono determinate per la maggior parte dalle emissioni di NH₃ per anno provenienti dai ricoveri, le quali rappresentano appunto l'aliquota più grande sul totale, mentre le emissioni dagli stoccaggi, e ancor più quelle provenienti dagli spandimenti, sono di minore entità ma non per questo di importanza di studio e necessità di riduzione.

3.4.1.1 – Confronto grafico delle emissioni di Ammoniaca provenienti dagli allevamenti suinicoli di piccole, medie e grandi dimensioni

Facendo seguito a quanto sopra esposto per gli allevamenti suinicoli, ed in particolare con riferimento alle emissioni di NH_3 provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti dei suini da ingrasso e dalle scrofe gestanti/in allattamento, relativamente agli stabilimenti di piccole, medie e grandi dimensioni.

Il grafico di Figura 19 che segue mostra in maniera netta come, relativamente agli allevamenti suinicoli di piccole dimensioni, i suini da ingrasso forniscano dei valori emissivi di ammoniaca decisamente più alti rispetto a quelli delle scrofe.

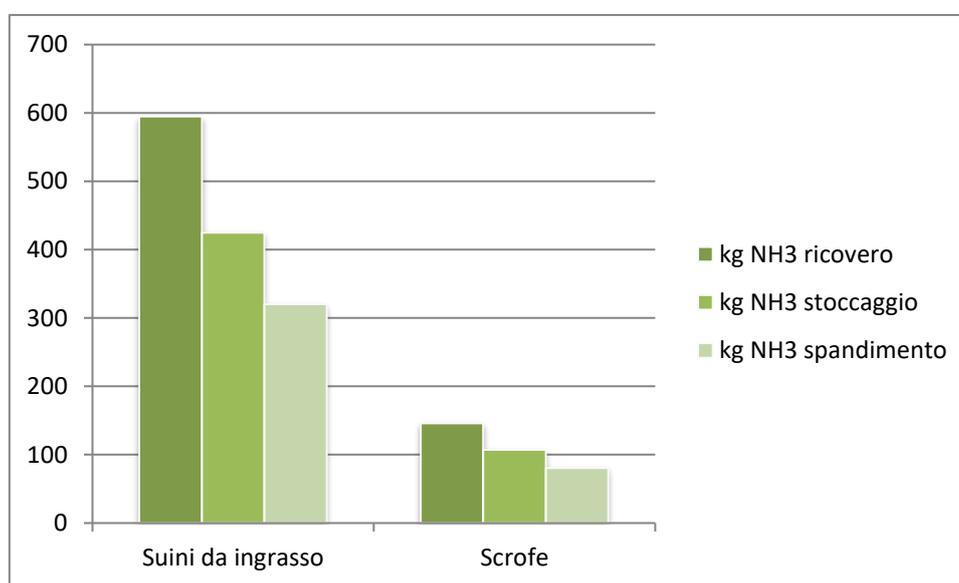


Figura 19: Confronto delle emissioni in Kg di NH_3 provenienti dagli allevamenti suinicoli di piccole dimensioni

Nei grafici delle Figure 20 e 21 si analizzano le differenze emissive espresse in Kg di NH_3 provenienti, rispettivamente, dagli allevamenti suinicoli di medie e grandi dimensioni. Nei grafici si può osservare che in queste due “categorie” di stabulazione si registra un aumento delle emissioni di ammoniaca per le scrofe (rispetto all’allevamento di piccole dimensioni), le quali però restano sempre su valori indubbiamente più contenuti rispetto ai suini da ingrasso che invece, molto probabilmente, “grazie” ad una minore superficie libera per capo necessaria, fanno registrare fattori di emissione provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti, decisamente più elevati.

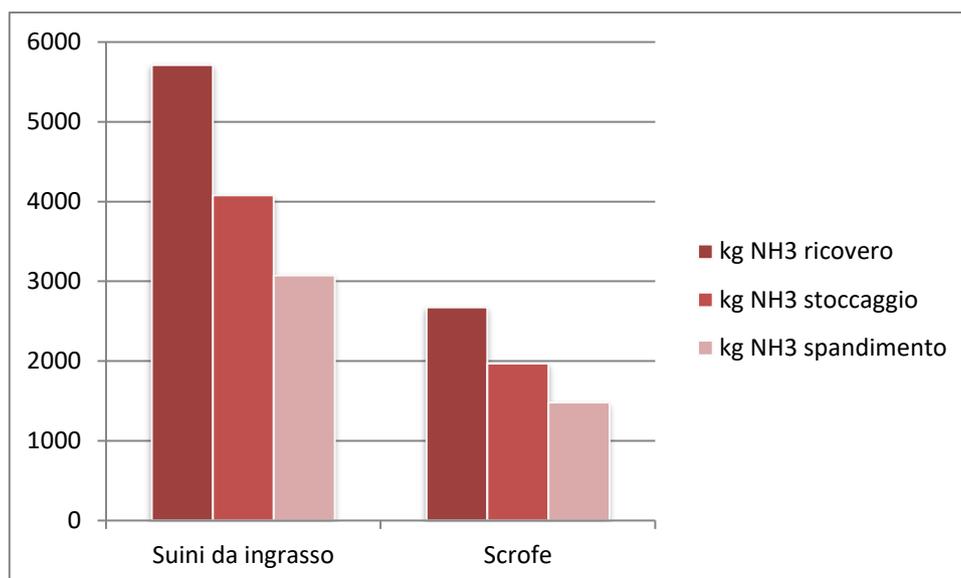


Figura 20: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti suinicoli di medie dimensioni

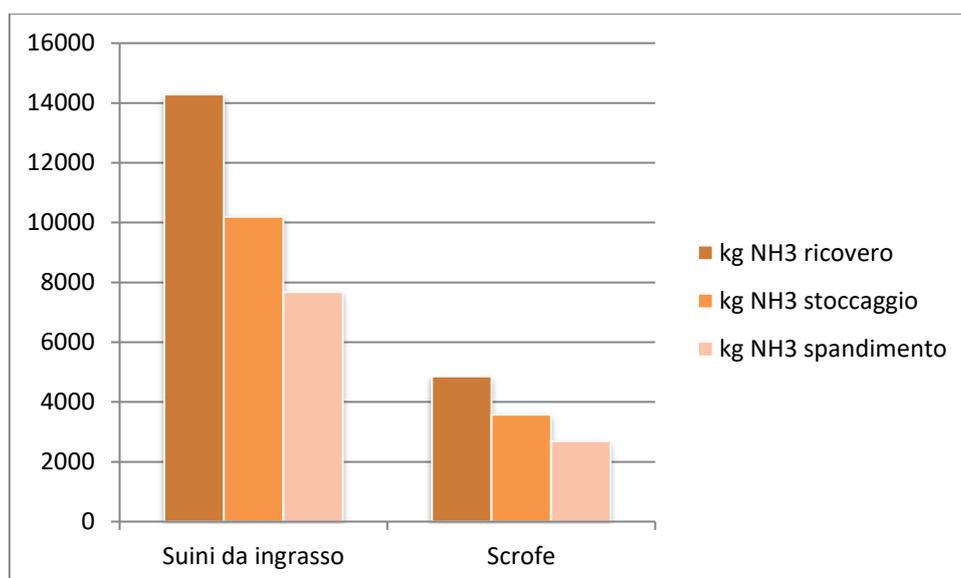


Figura 21: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti suinicoli di grandi dimensioni

3.4.2 – Dimensioni allevamenti intensivi avicoli e relative emissioni annue per capo di bestiame

➤ ALLEVAMENTI DI GALLINE OVAIOLE

Tale sezione si pone di analizzare il totale annuo delle emissioni di NH₃ di tre tipi di allevamento distinti in base alle dimensioni degli stessi, definendo quindi quali sono le superfici necessarie per la stabulazione delle galline ovaiole. Precisamente sappiamo che, come previsto dalle Direttive CE n. 74/1999 e n. 4/2002 e dal Regolamento CE n. 2295/2003, per gli allevamenti *a terra* o con *voliera* è obbligatorio garantire un numero di capi, su metro quadrato di superficie, pari a **9 m² per**

capo; nel caso in cui avessimo degli allevamenti con sistema di stabulazione *a gabbia* è necessario garantire la superficie di **750 cm² per capo**. La normativa prevede inoltre che, per la tipologia di allevamento *biologico* (che si configura quando non si supera un determinato numero di capi – pari ad esempio a massimo 3000 capi per capanno) è obbligatorio garantire un determinato benessere animale che viene fornito da una superficie minima di stabulazione pari a **6 capi per m²** al coperto e una superficie esterna pari a **4 capi per m²** (deve essere garantito il collegamento e il libero passaggio dall'interno all'esterno e viceversa, affinché si configuri la tipologia di allevamento *biologico*).

L'elenco sottostante indica qual è il numero dei capi che definisce le tre grandezze degli allevamenti intensivi studiati, per le galline ovaiole:

- *Piccole dimensioni/biologico* → n. 1200 capi
- *Medie dimensioni* → n. 18000 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 50000 capi

Sistema di allevamento a terra – biologico		
N. galline ovaiole	1200	
Emissione base unitaria ricovero	0,09	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	108,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	0,06	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	72,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	48,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	0,54	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	228	Kg NH ₃ per anno

Tabella 53: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni/biologici per le galline ovaiole

Ricoveri con lettiera permanente a terra e/o con voliera		
N. galline ovaiole	18000	
Emissione base unitaria ricovero	0,09	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	1620,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	0,06	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	1080,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	720,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	0,81	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	3420,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 54: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per le galline ovaiole

Ricoveri con lettiera permanente a terra e/o con voliera		
N. galline ovaiole	50000	
Emissione base unitaria ricovero	0,09	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	4500,00	Kg NH ₃ per anno

Emissione base unitaria stoccaggio	0,06	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	3000,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	2000,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>0,81</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	9500,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 55: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per le galline ovaiole

Le tabelle 53, 54 e 55 appena riportate, indicano, rispettivamente per gli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni, i valori emissivi di ammoniaca prodotti su base unitaria dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti per la categoria delle galline ovaiole, determinando anche in questo caso come dai ricoveri provengano le maggiori quantità di ammoniaca in relazione ai Kg di NH₃ per capo per anno.

➤ ALLEVAMENTI PER I POLLI DA CARNE

Relativamente alla categoria dei polli da carne, distinguiamo i tre tipi di allevamento in relazione alle dimensioni degli stessi. In particolare sappiamo che, come previsto dal Decreto Legislativo n. 181 del 2010, in attuazione della Direttiva CE 2007/43, per gli allevamenti *a terra* è obbligatorio garantire una densità di capi per metro quadrato che non superi il valore di 33 kg/m². La normativa prevede inoltre la possibilità, in seguito al verificarsi di determinate condizioni, di avere una densità massima per ogni capannone che va dai 39 kg/m² ai 43 kg/m².

Pertanto, considerando la densità massima di allevamento di 39 kg/m², specificando che un *pollo da carne* arriva ad un peso massimo di 3,5 kg raggiungibile a fine ciclo produttivo di 54 gg, si ottiene che il carico di animali che ci permette di rispettare il limite imposto dalla normativa è pari a **11 capi/m²** e quindi **38,5 kg/m² < 39 kg/m²**.

Possiamo precisare che in un allevamento tipo di polli da carne (*broilers*) in cui si hanno sia maschi che femmine in misura del 50/50, possiamo considerare che, a parità di numero di capi allevati per ciclo (ad esempio considerando un numero di capi pari a 150.000 di cui 75.000 maschi e 75.000 femmine), abbiamo una densità massima che si raggiunge a 35 gg anziché 54 gg, in quanto i polli da carne femmina hanno un ciclo produttivo più breve dei maschi.

Pertanto considerando che a 35 gg i polli femmina hanno un peso di 1,70 kg a capo mentre i polli maschio hanno un peso di 1,80 kg, abbiamo un peso medio in allevamento a 35 giorni pari a 1,75 kg a capo, che genera un numero di capi al metro quadrato pari a **22 capi/m²** e quindi **38,5 kg/m² < 39 kg/m²**.

Per l'allevamento di medie dimensioni in cui si hanno 50.000 *broilers* aventi peso di 3,5 kg, ipotizziamo allo stesso modo un carico animali al metro quadrato pari a **11 capi/m²** e quindi **38,5 kg/m² < 39 kg/m²**.

Per l'allevamento di piccole dimensioni, invece, consideriamo i parametri stabiliti per l'allevamento biologico, secondo cui la normativa dispone l'obbligo di un carico animale di **6 capi/m²**.

Di seguito sono riportati il numero dei capi con i quali vengono definite le dimensioni di un allevamento:

- *Piccole dimensioni/biologico* → n. 3000 capi
- *Medie dimensioni* → n. 50000 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 150000 capi

Lettieria, ricovero con ventilazione		
N. polli da carne	3000	
Emissione base unitaria ricovero	0,08	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	240	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	0,05	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	150	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	90	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	0,48	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	480	Kg NH ₃ per anno

Tabella 56: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni/biologici per i polli da carne

Lettieria, ricovero con ventilazione		
N. polli da carne	50000	
Emissione base unitaria ricovero	0,08	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	4000,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	0,05	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	2500,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	1500,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	0,88	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	8000,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 57: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per i polli da carne

Lettieria, ricovero con ventilazione		
N. polli da carne	150000	
Emissione base unitaria ricovero	0,08	Kg NH ₃ per capo per anno

Emissione base totale ricoveri	12000,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	0,05	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	7500,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	4500,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	0,88	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	24000,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 58: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per i polli da carne

Le tabelle 56, 57 e 58 indicano, rispettivamente per gli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni, i valori emissivi di ammoniaca prodotti su base unitaria dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti per la categoria dei polli da carne, determinando anche in questo caso come dai ricoveri provengano le maggiori quantità di ammoniaca in relazione ai Kg di NH₃ per capo per anno.

3.4.2.1 – Confronto grafico delle emissioni di Ammoniaca provenienti dagli allevamenti avicoli di piccole, medie e grandi dimensioni

Relativamente ai dati esposti nel paragrafo precedente per gli allevamenti avicoli, e con riferimento alle emissioni di NH₃ provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti dei polli da carne e delle galline ovaiole, riguardo agli stabilimenti aventi piccole, medie e grandi dimensioni.

Il grafico di Figura 4 mostra come, relativamente agli allevamenti avicoli di piccole dimensioni, le galline ovaiole forniscano dei valori emissivi di ammoniaca decisamente più alti rispetto a quelli dei polli da carne.

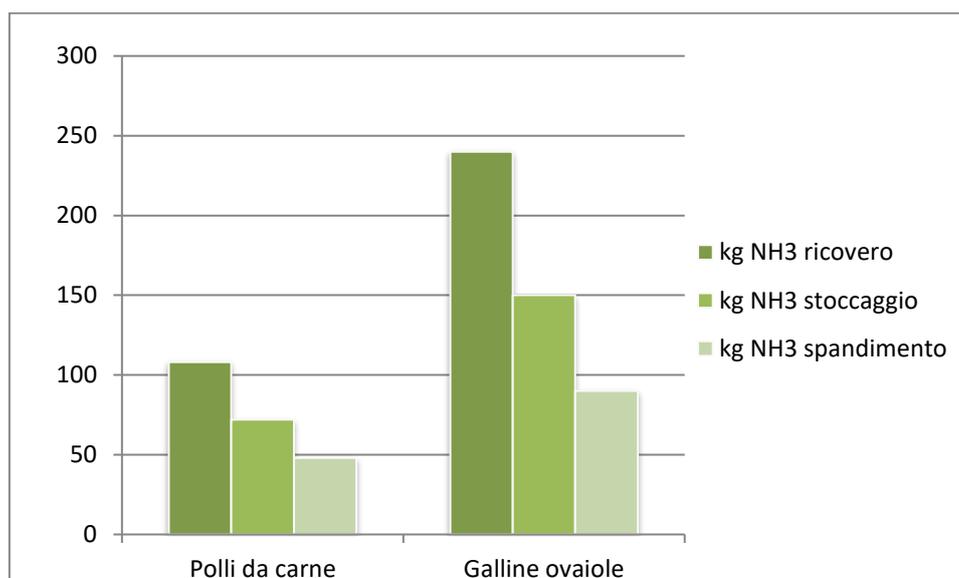


Figura 22: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti avicoli di piccole dimensioni

Nei grafici delle Figure 23 e 24 vengono riportate le quantità di NH_3 provenienti, rispettivamente, dagli allevamenti suinicoli di medie e di grandi dimensioni. Nei grafici si nota che in queste due “categorie” di stabulazione si ha, rispetto agli allevamenti di piccole dimensioni di Figura 22, un’inversione dell’aumento delle emissioni di ammoniaca per gli avicoli; infatti si può osservare come aumentando le dimensioni degli allevamenti intensivi, si hanno maggiori kg di NH_3 emessi per i Polli da carne rispetto alle Galline ovaiole, sia per quanto riguarda i ricoveri, sia per gli stoccaggi che per gli spandimenti.

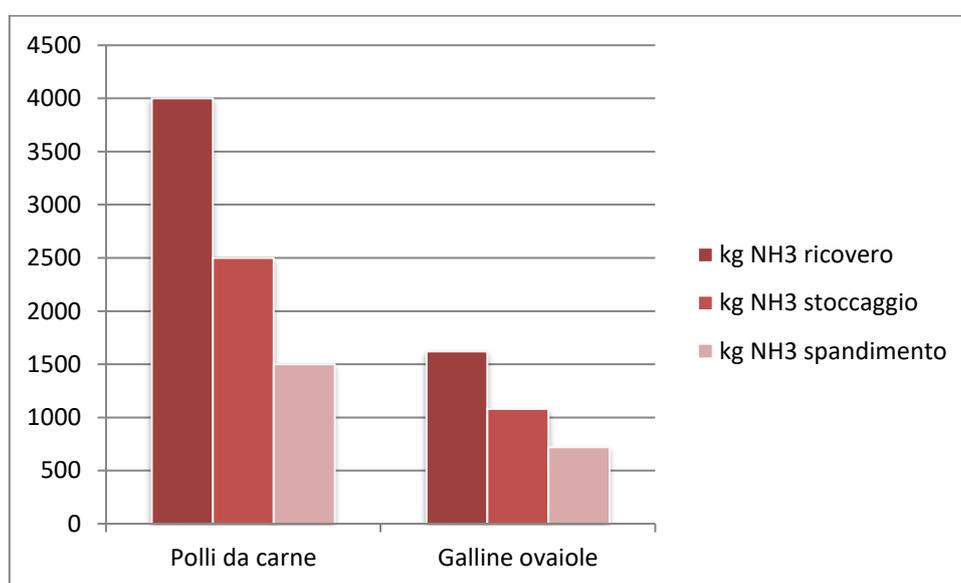


Figura 23: Confronto delle emissioni in Kg di NH_3 provenienti dagli allevamenti avicoli di medie dimensioni

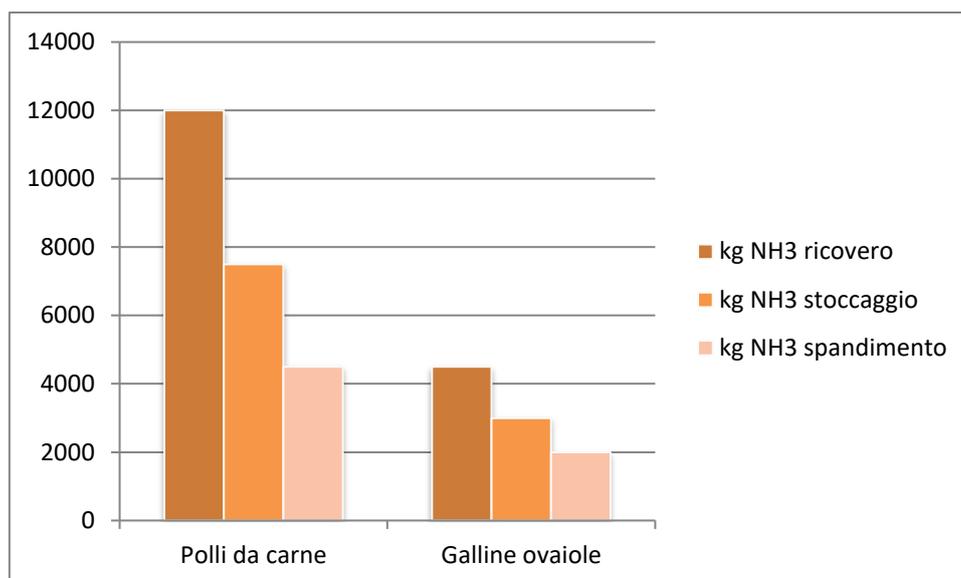


Figura 24: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti avicoli di grandi dimensioni

Questo deciso aumento in termini di emissioni che si palesa negli allevamenti di medie e grandi dimensioni, rispetto a quello di piccole dimensioni, è determinato dalla possibilità di allevare un numero più considerevole di capi al metro quadro relativamente ai polli da carne, così come definito dalle normative vigenti.

3.4.3 – Dimensioni allevamenti intensivi bovini e relative emissioni annue per capo di bestiame

➤ ALLEVAMENTI PER LE VACCHE DA LATTE

Tale sezione si pone di analizzare il totale annuo delle emissioni di NH₃ di tre tipi di allevamento distinti in base alle dimensioni degli stessi, definendo quindi quali sono le superfici necessarie per la stabulazione delle vacche da latte. In particolare sappiamo che, come previsto dalla Direttiva CE 2008/119, per gli allevamenti in questione la superficie libera per le vacche da latte allevate in gruppo deve essere di almeno **7-12 m² a capo** (“Benessere Animali – Regione Campania”).

Nel caso specifico si adotta una superficie pari a **10 m² a capo**.

L’elenco sottostante indica qual è il numero dei capi che definisce le tre grandezze degli allevamenti intensivi studiati, per le vacche da latte:

- *Piccole dimensioni* → n. 30 capi
- *Medie dimensioni* → n. 100 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 550 capi

Stalla a cuccette con paglia, corsie a pavimento pieno con raschiatore		
N. vacche da latte	30	
Emissione base unitaria ricovero	16,73	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	501,90	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	18,40	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	552,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	353,7	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,673</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	1407,6	Kg NH ₃ per anno

Tabella 59: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni per le vacche da latte

Stalla a cuccette con paglia, corsie a pavimento pieno con raschiatore		
N. vacche da latte	100	
Emissione base unitaria ricovero	16,73	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	1673,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	18,40	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	1840,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	1179,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,673</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	4692,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 60: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per le vacche da latte

Stalla a cuccette con paglia, corsie a pavimento pieno con raschiatore		
N. vacche da latte	550	
Emissione base unitaria ricovero	16,73	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	9201,50	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	18,40	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	10120,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	6484,50	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,673</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	25806,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 61: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per le vacche da latte

Conseguentemente a quanto elencato nelle tabelle 59, 60 e 61 sulle emissioni unitarie e totali annue di ammoniaca negli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni per le vacche da latte, emerge come le emissioni totali (esprese in Kg di NH₃ per anno) sono determinate in misura prioritaria dai valori emissivi di NH₃ per anno provenienti dagli stoccaggi, i quali rappresentano appunto l'aliquota più grande sul totale, mentre le emissioni dai ricoveri, e ancor più quelli provenienti dagli spandimenti, sono di minore entità.

➤ ALLEVAMENTI PER I BOVINI DA CARNE

In questa fase andiamo a distinguere tre categorie di allevamento in relazione alle dimensioni dello stesso, pertanto definiremo quali sono le superfici necessarie per la stabulazione dei bovini da carne o dei vitelli. In particolare sappiamo che, come previsto dalla Direttiva CE 2008/119, per gli allevamenti in questione la superficie libera per i bovini allevati in gruppo deve essere di almeno **3-5 m² a capo** (“Benessere Animali – Regione Campania”).

Nel caso specifico si adotta una superficie media pari a **4 m² a capo**.

L’elenco sottostante indica qual è il numero dei capi che definisce le tre grandezze degli allevamenti intensivi studiati, per i bovini da carne:

- *Piccole dimensioni* → n. 30 capi
- *Medie dimensioni* → n. 100 capi
- *Grandi dimensioni* → n. 550 capi

Stalla con stabulazione fissa

N. bovini	30	
Emissione base unitaria ricovero	7,60	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	228,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	8,60	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	258	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	167,7	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,9</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	653,7	Kg NH ₃ per anno

Tabella 62: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di piccole dimensioni per i bovini da carne

Stalla con stabulazione fissa

N. bovini	100	
Emissione base unitaria ricovero	7,60	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	760,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	8,60	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale stoccaggio	860,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	559,00	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,9</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	2179,00	Kg NH ₃ per anno

Tabella 63: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di medie dimensioni per i bovini da carne

Stalla con stabulazione fissa

N. bovini	550	
Emissione base unitaria ricovero	7,60	Kg NH ₃ per capo per anno
Emissione base totale ricoveri	4180,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base unitaria stoccaggio	8,60	Kg NH ₃ per capo per anno

Emissione base totale stoccaggio	4730,00	Kg NH ₃ per anno
Emissione base totale spandimento	3074,50	Kg NH ₃ per capo per anno
Superficie emittente ricovero in relazione al n. capi/m²	<u>1,9</u>	Kg NH ₃ /m ²
Emissione base TOTALE	11984,5	Kg NH ₃ per anno

Tabella 64: Emissioni unitarie e totali annue di NH₃ negli allevamenti di grandi dimensioni per i bovini da carne

Dalle tabelle sopra riportate, sulle emissioni unitarie e totali annue di ammoniaca negli allevamenti di piccole, medie e grandi dimensioni per i bovini da carne, si può notare come le emissioni totali (esprese in Kg di NH₃ per anno), sono determinate in misura maggioritaria dai valori emissivi di NH₃ per anno provenienti dagli stoccaggi, i quali rappresentano appunto l'aliquota più grande sul totale, mentre le emissioni dai ricoveri e dagli spandimenti, sono di minore entità. Come già evidenziato per le vacche da latte, anche i bovini si distinguono rispetto alle altre categorie animali studiate in questo documento.

3.4.3.1 – Confronto grafico delle emissioni di Ammoniaca provenienti dagli allevamenti bovini di piccole, medie e grandi dimensioni

Facendo seguito a quanto sopra esposto per gli allevamenti bovini, ed in particolare con riferimento alle emissioni di NH₃ provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti delle vacche da latte e dei bovini da ingrasso, relativamente agli stabilimenti di piccole, medie e grandi dimensioni.

Il grafico di Figura 25 che segue mostra in maniera netta come, relativamente agli allevamenti bovini di piccole dimensioni, le vacche da latte forniscano dei valori emissivi di ammoniaca decisamente più alti rispetto a quelli dei bovini da carne.

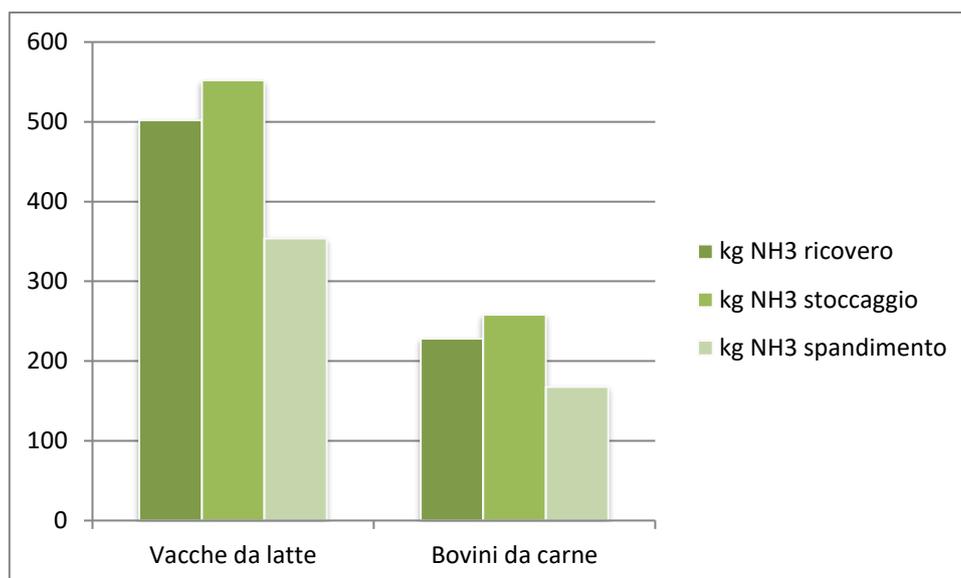


Figura 25: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti bovini di piccole dimensioni

L'aspetto che si delinea nel caso degli allevamenti di piccole dimensioni, ovvero quello che le vacche da latte producono delle quantità emissive di ammoniaca molto più alte rispetto ai bovini da carne, si ripete anche negli allevamenti di medie dimensioni e in quelli di grandi dimensioni rappresentati dai grafici contenuti nelle Figure 26 e 27 che seguono.

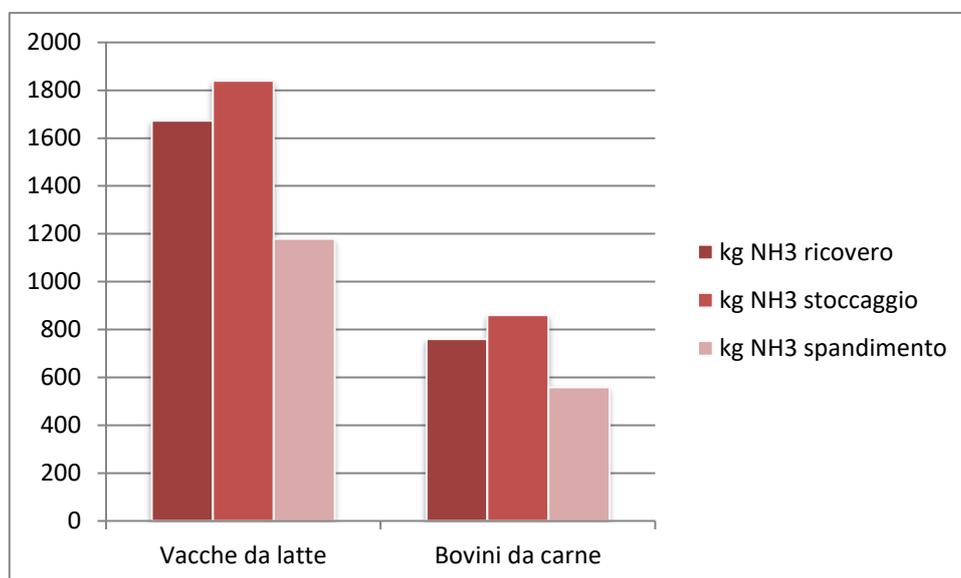


Figura 26: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti bovini di medie dimensioni

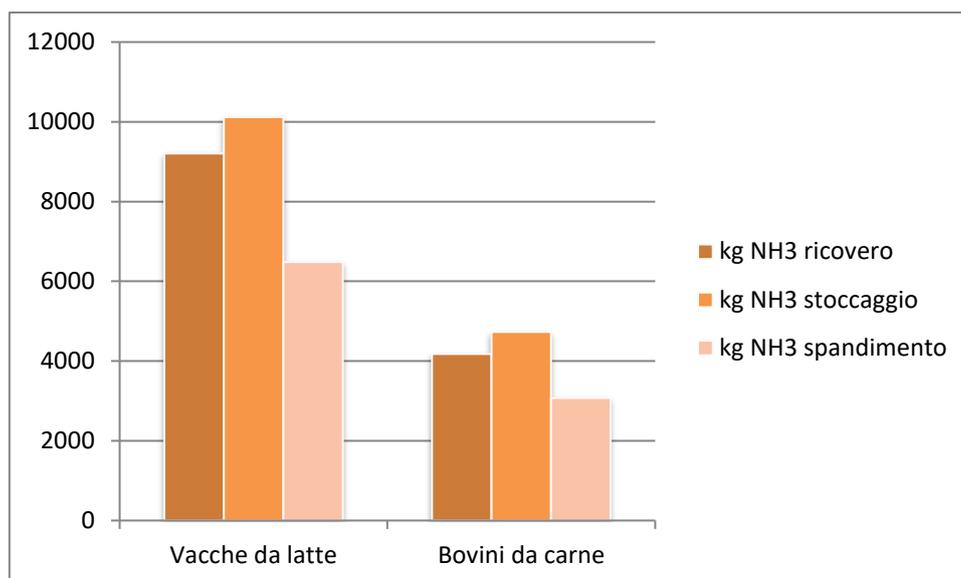


Figura 27: Confronto delle emissioni in Kg di NH₃ provenienti dagli allevamenti bovini di grandi dimensioni

Avendo analizzato tutte le tipologie di allevamento, si può portare all'attenzione il fatto che, mentre negli allevamenti suinicoli e avicoli avviene che le maggiori quantità di NH₃ prodotta la registriamo nella fase dei "ricoveri", negli allevamenti bovini invece, di tutte le tre dimensioni studiate, avviene che le maggiori aliquote di ammoniaca si sviluppano nella fase dello "stoccaggio". Proprio per questo motivo le Migliori Tecniche Disponibili attuabili nella fase di stoccaggio assumono una valenza molto importante, così come le modalità e l'efficacia di applicazione da parte degli addetti ai lavori.

4 – CONCLUSIONI

Riassumendo quanto raccolto e studiato in questo documento, si può in prima analisi affermare che gli odori costituiscono uno dei principali aspetti negativi di impatto ambientale degli allevamenti intensivi. Sebbene, in generale, alle emissioni odorigene non sono sempre associabili effetti diretti sulla salute, gli odori emessi dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti, sono causa di indubbio e persistente fastidio per la popolazione residente nelle vicinanze, diventando elemento di conflitto sia nel caso di allevamenti esistenti, sia nella scelta del sito di localizzazione di nuovi stabilimenti. Nei casi peggiori si registrano effetti negativi sulla salute degli operatori, degli animali stessi e di chi si trova nelle immediate vicinanze, nonché si hanno ripercussioni importanti sull'ambiente.

Da tempo si è quindi avvertita la necessità di monitorare la qualità dell'aria in relazione ai livelli ambientali di odore, quindi risulta indispensabile quantificare le emissioni odorigene e confrontarle tra di loro, individuando quali sono le fasi di allevamento più critiche.

A tal proposito, sulla scorta di quanto fin qui definito, in questa sezione passiamo a confrontare i dati raccolti relativamente alle emissioni di ammoniaca provenienti dai vari allevamenti, distinti per dimensioni e categoria animale trattata. Nello specifico i dati verranno racchiusi in un unico grafico costituito dai fattori emissivi, provenienti da tutte le categorie animali, aventi, in tal caso, come comun denominatore quello delle dimensioni dell'allevamento, che nel grafico di Figura 28 sottostante sono quelle di "piccolo stabilimento".

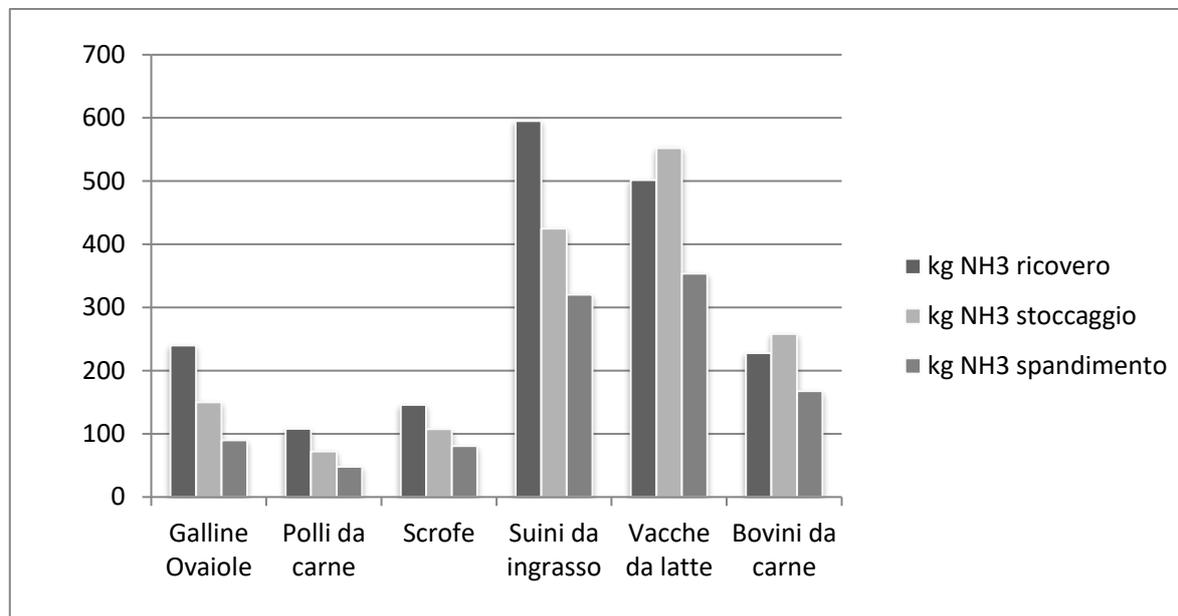


Figura 28: Confronto emissioni di ammoniaca per allevamenti di piccole dimensioni

Osservando attentamente quanto rappresentato dal grafico di Figura 28, salta all'occhio, anche a dispetto delle evidenti differenze di mole tra le varie categorie animali, come le emissioni di NH₃ provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti dei piccoli allevamenti, pongano le

categorie dei suini da ingrasso e delle vacche da latte come le specie artefici dei valori emissivi più alti, ma soprattutto mettono in evidenza il fatto che le galline ovaiole producono, a parità di dimensioni degli stabilimenti, una maggiore emissione di ammoniaca dai ricoveri rispetto a quelle delle scrofe e quasi alla pari con i bovini da carne. Si nota inoltre che, lo stoccaggio, nella categoria delle vacche da latte è il più invasivo in termini di emissioni ammoniacali.

Relativamente alle emissioni di ammoniaca provenienti dagli allevamenti di medie dimensioni prodotte da tutte le categorie animali studiate, nel grafico di Figura 29 che segue vengono racchiuse e distinte in base alle quantità imputabili ai ricoveri, agli stoccaggi e agli stabilimenti.

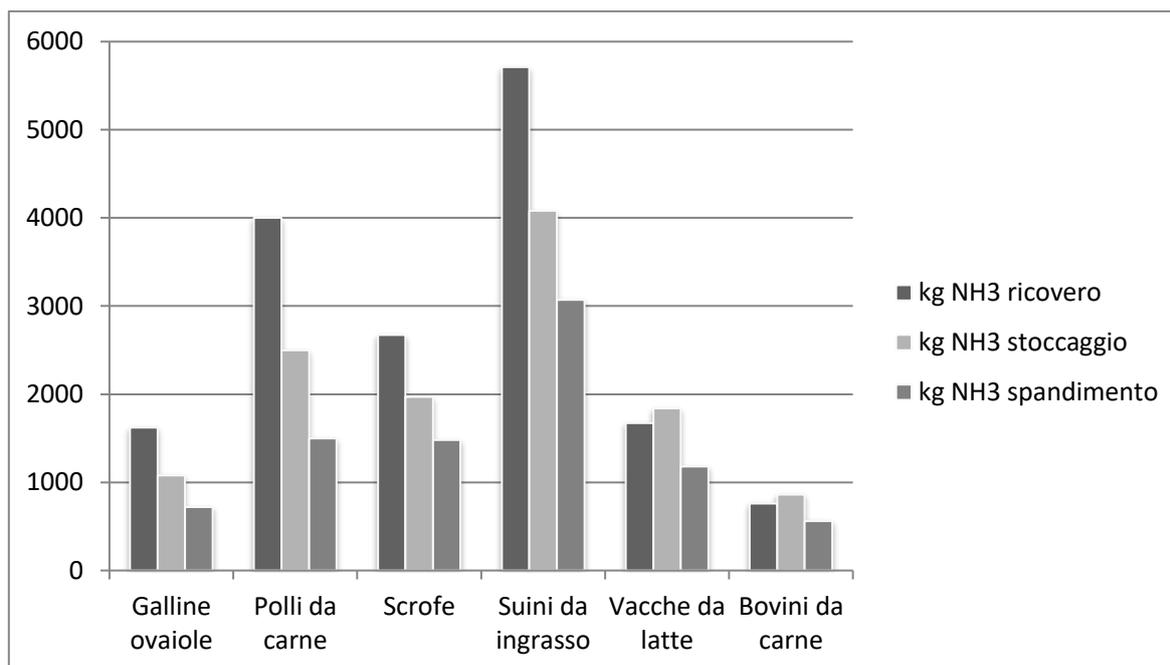


Figura 29: Confronto emissioni di ammoniaca per allevamenti di medie dimensioni

Analizzando quanto rappresentato in Figura 29, emerge che le emissioni di NH_3 provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti degli allevamenti di medie dimensioni, pongono la categoria dei suini da ingrasso come la specie generatrice dei valori emissivi di gran lunga più alti per quel che riguarda i ricoveri, gli stoccaggi e gli spandimenti.

Si nota inoltre come in tal caso i polli da carne si pongano al "2° posto" in termini di emissioni, superando di molto i fattori emissivi delle scrofe, delle vacche da latte, delle galline ovaiole e dei bovini da carne; questi ultimi nel caso degli allevamenti di medie dimensioni rappresentano la specie che produce le emissioni di ammoniaca minori.

Alla luce di quanto detto, confrontando i grafici di Figura 28 e 29, si nota che dal passaggio dagli allevamenti di piccole dimensioni a quelli di medie dimensioni, i polli da carne passano da essere una delle categorie meno impattanti in termini di emissioni di NH_3 , a essere la seconda categoria per emissioni, nonostante sia una delle due specie animali trattate di minori dimensioni.

Continuando le analisi fatte fin qui, il grafico riportato in Figura 30 pone a confronto le emissioni di ammoniaca provenienti dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti generati dalle categorie animali studiate, aventi come base comune la dimensione dei rispettivi stabilimenti, ovvero gli allevamenti di grandi dimensioni.

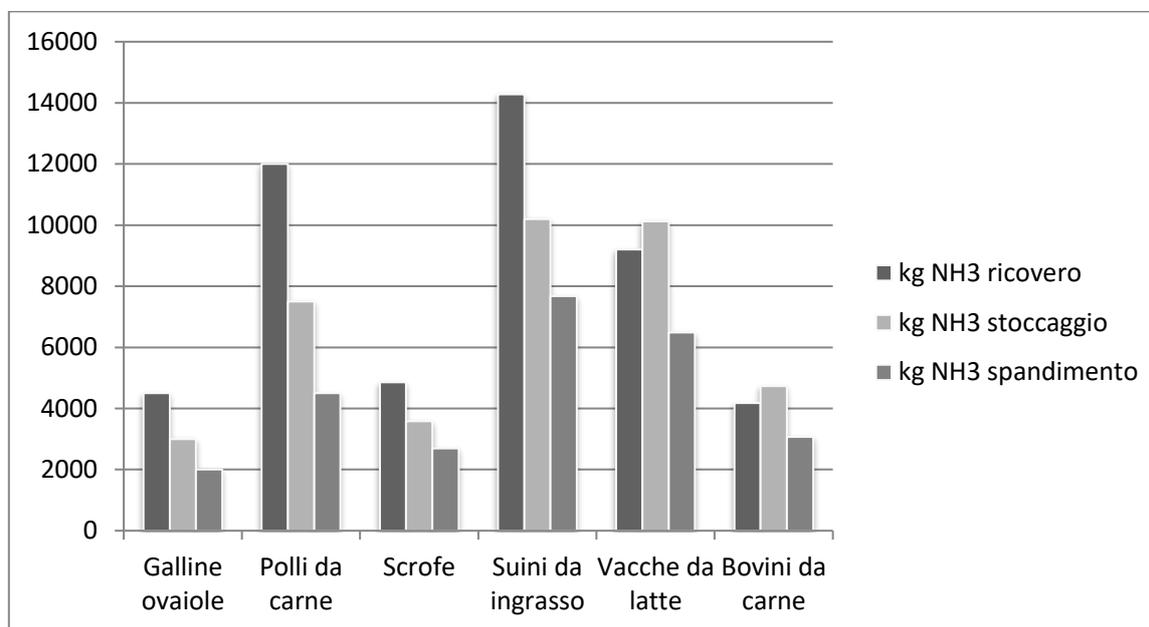


Figura 30: Confronto emissioni di ammoniaca per allevamenti di grandi dimensioni

Anche in questo grafico rappresentato in Figura 30, si evince come le maggiori quantità di ammoniaca prodotte dai ricoveri, dagli stoccaggi e dagli spandimenti, appartengono alla categoria animale dei suini da ingrasso; in seconda battuta si nota un consistente aumento delle emissioni dai ricoveri per i polli da carne, come già verificato negli allevamenti di medie dimensioni, e soprattutto anche per le vacche da latte, le quali fanno registrare un considerevole aumento rispetto agli allevamenti di medie dimensioni.

Relativamente agli stoccaggi si rileva che i suini da ingrasso e le vacche hanno i valori emissivi più alti, ai quali fanno seguito i polli da carne, i bovini da carne, le scrofe e in ultimo le galline ovaiole.

Per quanto riguarda gli spandimenti, si può riassumere come in tutte e tre le dimensioni degli allevamenti rappresentati, le aliquote maggiori di NH_3 sono prodotte dalle categorie dei suini da ingrasso e delle vacche da latte.

A tal proposito viene riportato di seguito il grafico di Figura 31 che mette in evidenza quanto appena detto per gli spandimenti, relativamente ai fattori emissivi dei grandi allevamenti; si può notare infatti come gli spandimenti derivanti dall'utilizzo di deiezioni provenienti dai suini da ingrasso e dalle vacche da latte siano i più impattanti, seguiti dai polli da carne, poi dai bovini, dalle scrofe e dalle galline ovaiole.

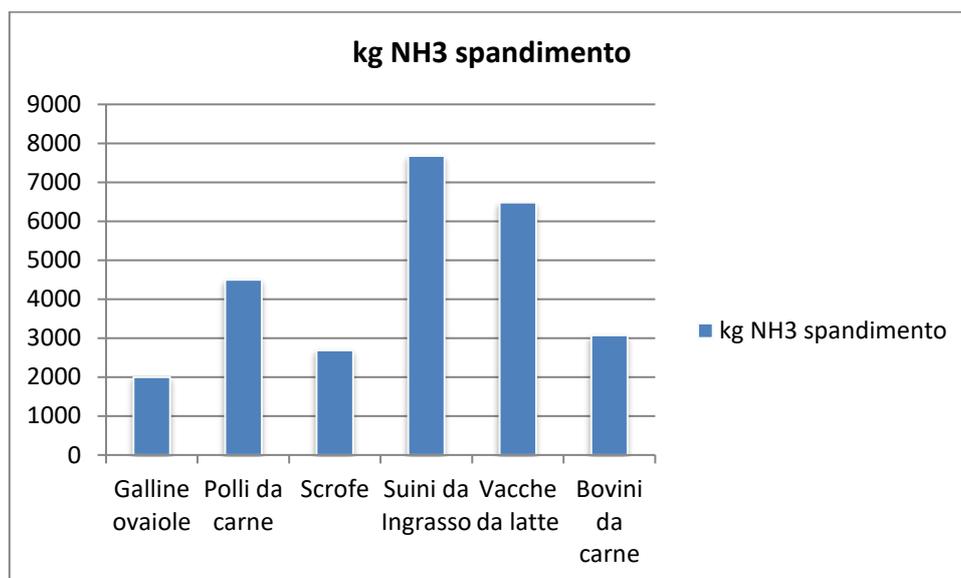


Figura 31: Emissioni di ammoniaca per la fase degli spandimenti, relative agli allevamenti di grandi dimensioni

Sulla scorta dei dati raccolti nelle tabelle relative ai ricoveri suddivisi per categorie animali e per dimensioni degli allevamenti (dati raccolti dalla tabella n. 6 alla tabella n. 23 del Capitolo 3), si è voluto mettere a confronto degli ulteriori scenari al fine di identificare meglio quali sono le specie trattate da questo documento che impattano maggiormente in termini di emissioni di ammoniaca.

In particolare si è fatto riferimento alla quantità di ammoniaca emessa da ogni singola specie in relazione ai metri quadri di ricovero, disponibili per capo allevato.

I grafici rappresentati nelle Figure 32 e 33 che seguono, mettono in evidenza lo scenario che si sviluppa negli allevamenti di piccole dimensioni (figura 32) e lo scenario che si verifica negli stabilimenti di medie e grandi dimensioni (entrambi racchiusi in figura 33). Il motivo di aver trattato gli allevamenti di piccola dimensione in maniera distinta rispetto agli altri due, è dettato dal fatto che, le normative, nell'ambito degli allevamenti avicoli di piccole entità, stabiliscono che il dato di riferimento per determinare il numero di animali all'interno dei ricoveri, è quello dei Kg a metro quadrato (ricordiamo che per i polli da carne bisogna garantire una densità di capi per metro quadrato che non superi il valore di 39 kg/m²).

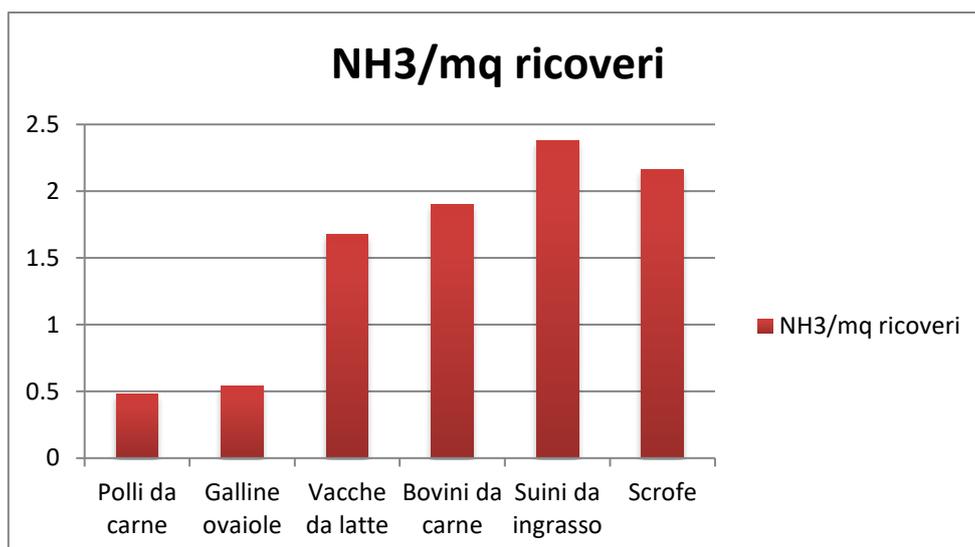


Figura 32: Emissioni di NH₃ dagli allevamenti di piccole dimensioni in relazione alla superficie emittente del ricovero

Analizzando i grafici qui riportati, si può osservare come nel passaggio dagli allevamenti di piccole dimensioni a quelli di medie e grandi dimensioni (rappresentati nel grafico di Figura 33), si hanno cambiamenti sostanziali in termini di emissioni di NH₃/m² di superficie del ricovero, solamente per le specie animali dei polli da carne e delle galline ovaiole, registrando un “sorpasso” ad opera dei broilers nei confronti delle galline, i quali appunto determinano nei medi e grandi stabilimenti maggiori quantitativi di emissioni ammoniacali.

Si mantengono invece invariate le “posizioni” dei piccoli, medi e grandi allevamenti per quel che riguarda i suini, le scrofe, i bovini e le vacche da latte.

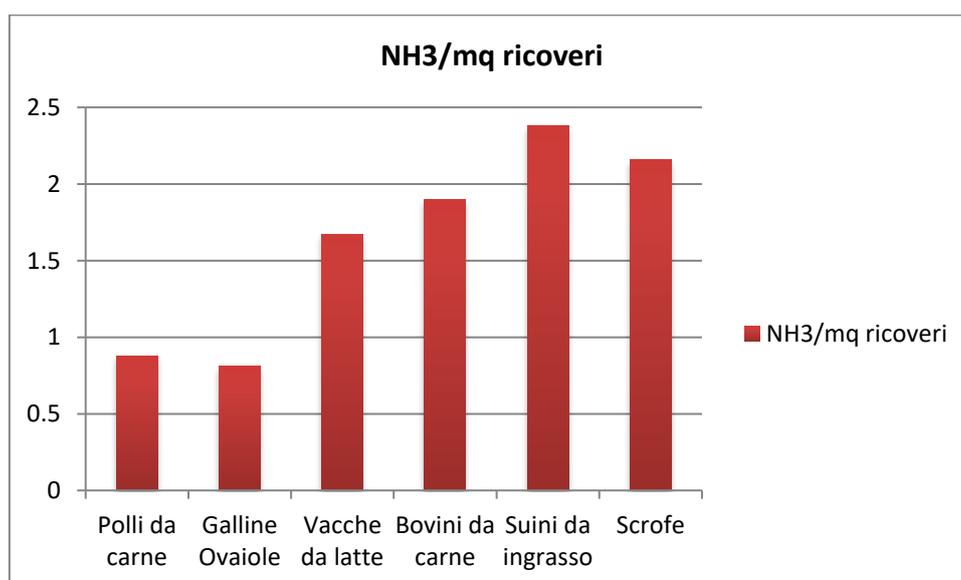


Figura 33: Emissioni di NH₃ dagli allevamenti di medie e grandi dimensioni in relazione alla superficie emittente del ricovero

Come già ampiamente discusso in questo studio, gli allevamenti e di conseguenza l'agricoltura sono considerati due delle fonti principali di emissioni di gas climalteranti (come il metano e il protossido di azoto), ma anche fonti principali di produzione di ammoniaca che contribuisce ai fenomeni di acidificazione ed eutrofizzazione, così come causa di importanti impatti odorigeni.

In Italia ma come in altri paesi europei si stanno facendo dei passi in avanti in termini di lotta attiva alle emissioni impattanti provenienti dal settore agricolo, e nonostante non sia ancora una Normativa completa che disciplini in tutti i suoi aspetti la problematica fornendo anche efficaci Linee Guida, si registrano comunque spunti importanti, come delle Regioni Italiane che hanno fornito degli approcci sia strutturali che gestionali, come ad esempio software sviluppati dalla Regione Lombardia e dall'ENEA, denominati rispettivamente "*Erica*" e "*Nitroflussi*" i quali permettono di valutare la fattibilità dell'applicazione delle misure di mitigazione, anche mediante l'analisi dei costi di ciascuna Misura.

Tuttavia, esistono una moltitudine di interrelazioni fra i regolamenti che disciplinano le problematiche legate al riscaldamento globale e quelle relative alla riduzione del carico azotato in agricoltura, tanto che il controllo di un gas potrebbe influenzare le emissioni di altri gas, sia positivamente che negativamente; infatti possiamo dire che le misure che permettono di raggiungere l'obiettivo di ridurre i gas serra, potrebbero creare ostacoli alla riduzione dell'ammoniaca e viceversa.

Sulla scorta di quanto detto, quindi, il controllo delle emissioni prodotte dall'animale nella fase di ricovero è particolarmente importante poiché ci determina il livello iniziale di carico emissivo che potrà essere monitorato con lo scopo di ridurre le emissioni alla fonte. Le fasi di sviluppo delle emissioni attraverso la manipolazione e lo stoccaggio dei reflui nonché la loro applicazione al campo, non sono meno importanti in quanto determinano, una volta applicate le Migliori Tecniche Disponibili, una decisa riduzione delle emissioni di ammoniaca e gas climalteranti.

La gestione aziendale diventa quindi fondamentale nel controllo delle emissioni e del loro relativo abbattimento; infatti senza misure di mitigazione gestionali, la maggior parte dei benefici ottenuti, durante lo stoccaggio, manipolazione e spandimento svaniscono.

Entra in gioco a tal proposito, in termini di gestione razionale degli allevamenti e degli animali, gli interventi mirati sulla dieta del bestiame allevato, aventi lo scopo di ridurre le escrezioni di azoto nelle deiezioni e nelle urine attraverso la somministrazione controllata, in termini di quantità e composizione, degli alimenti nelle varie fasi del ciclo produttivo.

Le strategie di riduzione dell'ammoniaca attraverso l'intervento mirato sulla dieta degli animali sembra essere la strategia più efficace in quanto si va ad agire a monte della catena di produzione del gas inquinante. Tale obiettivo può essere raggiunto attraverso la riduzione del contenuto proteico e/o l'aggiunta di additivi in modo tale da ridurre la quantità di azoto escreto nelle deiezioni. L'escrezione di azoto totale e di azoto ammoniacale, il pH delle urine e del liquame possono essere ridotti attraverso la modifica della composizione della dieta e/o applicando specifici additivi alla

stessa (UNECE, 2014). Inoltre, nei bovini da latte, l'utilizzo di aminoacidi, come lisina e metionina può essere utile per migliorare l'equilibrio nella composizione amminoacidica della proteina digerita dall'intestino tenue.

La riduzione dell'escrezione di ammoniaca nei bovini richiede quindi l'utilizzo di strategie nutrizionali capaci di abbattere la quantità di azoto escreto nelle deiezioni. Ciò è particolarmente vero per quanto riguarda l'escrezione dell'azoto sottoforma di urea nell'urina. Il pH urinario, ad esempio, è in grado di influenzare le emissioni di azoto (Cole et al., 2005); in alcuni casi è possibile adeguare la dieta in modo da ridurre l'escrezione di azoto totale ed urinario continuando, al contempo, a fornire all'animale un fabbisogno energetico e nutrizionale adatto ai requisiti di performance attesi.

L'adeguamento della dieta allo scopo di ridurre le quantità di azoto escreto può condurre ad una riduzione della produzione di NH_3 in una percentuale variabile tra il 20% ed il 50% con effetti minimi e trascurabili sulla performance animale (Cole et al., 2005; Todd et al., 2006). Alcuni dei fattori nutrizionali che possono essere manipolati sono l'assunzione di proteine grezze e/o di proteine provenienti da alimentazione e fase, concentrazione di grassi, fonte di fibre e bilanciamento anionico-cationico, così come gli additivi per aumentare la crescita.

All'atto pratico i bovini possono assumere proteine grezze attraverso la dieta in due forme: la prima è la porzione di proteine degradabili (PDI) che sono degradate dai batteri del rumine e quindi assorbite o convertite a proteine microbiche e acidi nucleici; la seconda forma è la porzione di proteine non degradabili che non vengono digerite nel rumine, ma passano all'intestino, dove sono digerite ed assorbite come aminoacidi per circa l'80% o escrete per il restante 20% circa.

Il rapporto redatto dalla Nazioni Unite per conto della Commissione Europea, propone delle indicazioni sulle quantità (esprese in % rispetto alla sostanza secca) di proteina grezza da impiegare nell'alimentazione dei bovini, suini ed avicoli al fine di limitare le emissioni di ammoniaca (Tabella 65 - UNECE 2014). Generalmente, una riduzione di 10 grammi di proteina grezza per Kg di sostanza secca nella dieta permette una riduzione stimata di circa il 10% delle emissioni di ammoniaca nelle aziende zootecniche durante la fase di ricovero, stoccaggio e successivo spandimento in campo.

Specie bovine	PG (g/Kg)	EUN (Kg/Kg)
Da latte più mantenimento, inizio lattazione	150-160	0,30
Da latte più mantenimento, fine lattazione	120-140	0,25
Rimonta e asciutta	130-150	0,10
Vitelli	170-190	0,45
Bovini < 3 mesi	150-160	0,30
Bovini 3/18 mesi	130-150	0,15
Bovini > 18 mesi	120	0,05

Tabella 65: Obiettivi da raggiungere di Proteina Grezza (PG), in g/Kg di Sostanza Secca (SS) della razione, ed Efficacia di Utilizzo di Azoto (EUN) in Kg/Kg per i bovini (UNECE 2014)

Oltre alla riduzione dell'apporto di proteina nella dieta, si può agire sulle emissioni di ammoniaca definendo un'alimentazione per fase produttiva, raggiungendo dei buoni risultati di abbattimento delle emissioni. L'alimentazione a fasi consiste nel variare nel tempo l'assunzione di nutrienti in modo che siano adeguati alle mutate richieste dell'animale, che, come succede ad esempio per i bovini adulti, maturando richiede un'assunzione minore di proteine; impattando in maniera quasi trascurabile sulle performance dell'animale, si può adottare una riduzione graduale del contenuto proteico grezzo dal 16% al 12% (UNECE, 2014).

Analizzando i comparti suinicoli ed avicoli, si evince che la riduzione del tenore proteico e l'integrazione con aminoacidi di sintesi, sono tecniche molto utilizzate e si basano sul principio di alimentare gli animali eliminando l'eccesso di proteine ingerite e fornendo al tempo stesso appropriati livelli di aminoacidi, in modo da coprire i fabbisogni in aminoacidi limitanti, primo tra tutti la lisina, soddisfacendo nel contempo l'equilibrio ottimale tra gli aminoacidi essenziali e i non essenziali, in modo da ottenere performance di livello. Una riduzione del 1% nel contenuto di proteine nella dieta può portare ad una diminuzione del 10% dell'azoto escreto nelle galline ovaiole e del 5-10% nei broilers. Per i suini aventi peso compreso tra i 25 kg e i 110 kg, per ogni punto percentuale di riduzione del tenore proteico, si ha una diminuzione di circa il 10% dell'azoto escreto (Degré et al., 2001; UNECE, 2014).

Pertanto, quanto sopra detto si può riassumere precisando che, riducendo l'escrezione di sostanze nutritive (ad esempio Azoto "N" e Fosforo "P") nelle deiezioni, si determina una riduzione delle emissioni, infatti diminuendo la quantità di Azoto nel liquame non solo si riducono le emissioni di ammoniaca, ma anche le potenziali perdite di N (per lisciviazione e/o denitrificazione) durante lo spandimento; l'obiettivo primario è quello di soddisfare le esigenze nutrizionali degli animali senza provocare un impatto negativo sulla salute ed il benessere degli stessi. Questo obiettivo può essere raggiunto garantendo che gli animali non siano alimentati con maggiori quantità di nutrienti rispetto a quanto richiesto per l'obiettivo di nutrizione da raggiungere. In altre parole, le misure nutrizionali mirano a ridurre la quantità di Azoto, che viene escreto principalmente sotto forma di urea (es. acido urico nella pollina) e viene degradato in ammoniaca e ammonio.

Ad avvalorare la tesi che la gestione della dieta rappresenta una nuova ed efficace forma di controllo delle emissioni inquinanti a monte, si fa strada uno studio della *Queen's University* di Belfast, il quale dimostra che l'integrazione nell'alimentazione dei ruminanti con alghe marine native irlandesi e britanniche, potrebbe favorire la riduzione nelle emissioni di metano, da parte degli animali, pari al 30%.

Dai risultati della presente Tesi, supportati da un'ampia letteratura scientifica, è possibile affermare che l'applicazione razionale di misure tecniche e gestionali per gli allevamenti e per l'agricoltura ad essi correlata, forniscono dei buoni risultati, e in alcuni casi ottimi, in termini di riduzione delle emissioni impattanti sia da un punto di vista degli odori sia da un punto di vista dei gas ad effetto serra, senza perdere di vista il benessere animale e la "performance" ad essi richiesta.

BIBLIOGRAFIA

Aarnik, A.J.A., Elzing A. – Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs – Livest Prod. Sci. 1998.

Aarnik A.J.A. – Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behavior. PhD thesis- Agricultural UW, Wageningen – 1997.

Alterra, 2000. Calculated losses of gaseous nitrogen compounds from livestock manure in stables and manure storage systems. Alterra Report 107.

APAT – Metodi di misura delle emissioni olfattive: quadro normativo e campagne di misura – Manuali e Linee guida, 2003.

Arogo J., Westerman P.W., Heber A.J.: A review of ammonia emissions from confined swine feeding operations. American Society of Agricultural Engineers, 2003.

ARPA Lombardia – Progetto Ammoniaca, relazione finale triennio 2017-2019 – dicembre 2019.

ARPAfvig – Procedura per la valutazione dell’impatto odorigeno da attività produttive.

ARPAV – Report preliminare: Applicazione modello Nitroflussi per la valutazione delle azioni di contenimento delle emissioni dal comparto agricoltura-allevamenti.

ARPAV, 2016. Aggiornamento del Piano regionale di tutela e risanamento dell'atmosfera. D.lgs. 152/2006 s.m.i. - D.lgs.155/2010. (DGR 34/cr del 15 aprile 2014 di riassunzione della DGR 74/CR del 1° settembre 2015 e della DGR 98/CR del 19 novembre 2015 di integrazione). Deliberazione del Consiglio Regionale n.90 del 19 aprile 2016. In Bur n. 44 del 10 maggio 2016.

ARPAV - Monitoraggio di alcuni inquinanti atmosferici nei territori comunali di Roncade e San Biagio di Callalta in relazione alla presenza di un allevamento di suini – Dipartimento provinciale di Treviso – 2020.

Atta Atia, Karen Haugen-Kozyra, Mohamed Amrani: Ammonia and Hydrogen Sulfide Emissions from Livestock Production - Alberta Agriculture, Food and Rural Development.

Azienda Agricola Zuccolo – Relazione Tecnica, Laboratorio di olfattometria dinamica – LOD S.r.l.

Bacchetta Adriano – Il rischio associato alla presenza di liquami negli allevamenti animali – 20 febbraio 2020.

Baldini C., Borgonovo F., Coppolecchia D., Brambilla M., Navarotto P., - Role of housing solutions in reducing GHG emissions from dairy cattle farms – 2012.

Baldo dott. Gabriele – Progetto per la realizzazione di un nuovo complesso per l’allevamento avicolo intensive in via Colombare per conto di “Quaresima Società Agricola” – Relazione sulle emissioni odorose – 2014.

Balzan Ing. Giovanni – Integrazioni allo studio delle ricadute atmosferiche e degli odori “Ampliamento allevamento avicolo in via bilogna e santa lucia del comune di Lendinara Soc. Agr. Cestaro fratelli” – Rovigo, luglio 2017.

Belgiorno Vincenzo – “Le emissioni odorigene: caratterizzazione, campionamento e tecnologie di misura” - Divisione di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) - Università degli Studi di Salerno – 2018.

Bertocchi L., Fusi F., Angelucci A., Lorenzi V. - Manuale e procedure per la valutazione del benessere e della biosicurezza nell'allevamento bovino da latte – Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale.

CEN (Comité Européen de Normalisation): Document TC264/WG2 Odour – Concentration measurement by dynamic olfactometry- Editions Legislatives, 1995.

Chen Y., Bundy D.S., Hoff S.J., (1999). Using olfactometry to measure intensity and threshold dilution ratio for evaluating swine odor. Journal of the Air and Waste Management, Vol 49.

Cole N.A., Clark R.N., Todd R.W., Richardson C.R., Gueye A., Greene L.W., Mc Bride K. – Influence of dietary crude protein concentration and source on potential ammonia emission from beef cattle manure – J. Animal Science – 2005.

CRPA - Strumenti di valutazione delle azioni di riduzione delle emissioni negli allevamenti bovini da latte – Milkgas.

DECISIONE DI ESECUZIONE (UE) 2017/302 DELLA COMMISSIONE del 15 febbraio 2017 che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) concernenti l'allevamento intensivo di pollame o di suini, ai sensi della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio.

DECRETO LEGISLATIVO: Attuazione della direttiva 2008/120/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini – Consiglio dei Ministri 07/07/2011.

Decreto Legislativo 27 settembre 2010, n.181 - "Attuazione della direttiva 2007/43/CE che stabilisce norme minime per la protezione di polli allevati per la produzione di carne" – pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 5 novembre 2010 n. 259.

Decreto Legislativo 7 luglio 2011, n. 126 – Attuazione della direttiva 2008/119/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei vitelli.

Degré A., Verheve D., Debouche Ch. – Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction – Biotechnol. Agron. Soc. Environ – 2001.

Direzione Generale Agricoltura della Commissione Europea – Assessing farmers costs of compliance with legislation in the field of environment, animal welfare and food safety – CRPA, De Roest and Menghi, Brussels 2014.

DOMANDA DI AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE – D. LGS. N. 59/2005 - ALLEVAMENTO DI POLLI DA CARNE “BROILERS” - SINTESI NON TECNICA - Azienda Agricola di Bertuzzi Flavio.

Dott. Agr. Pozzebon Roberto - Relazione tecnica relativa alla realizzazione di un allevamento di polli da carne: descrizione interventi e analisi dei potenziali impatti ambientali – giugno 2017.

EMEP/EAA – Air pollutant emissions inventory guidebook 2013, Technical guidance to prepare national emission inventories, European Environment Agency, Technical report n. 12/2013.

ERVET, 2005 – Manuale per la diffusione di tecnologie e sistemi di produzione più puliti nel settore zootecnico in Emilia Romagna – Allevamenti suini, bovini, avicoli – Gruppo di lavoro Emilia Romagna Valorizzazione Economica del territorio.

Fanizzi L., Miscelo S., Piscitelli G., (2001). Qualità, misura e dispersione degli odori nell'ambiente da impianti di depurazione acque reflue. Scienza e inquinamento.

Faulkner W.B., Shaw B. W.: Review of ammonia emission factors for United States animal agriculture.

Ferraro Dott. Antonio – Benessere Animale: aggiornamento ed evoluzione normativa – Ministero della Salute, Direzione generale della sanità animale e dei farmaci veterinari.

Freeman T., Needham C., Schulz T., - Analysis of options for odour evaluation for industrial or trade processes. Auckland Regional Council – 2000.

G. Andreottola, V. Riganti, Gli odori e le sostanze odorogene, seminario di studio "Il contenimento degli odori negli impianti di trattamento di acque e rifiuti", 1997 Pavia.

Germán Giner Santonja, Konstantinos Georgitzikis, Bianca Maria Scalet, Paolo Montobbio, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho - Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, 2017.

Groenestein C.M., Smits M.C.J., Huijsmans J.F.M., Oenema O. – Measures to reduce ammonia emissions from livestock manures, now soon and later – Wageningen UR livestock Research – Report 488 – 2011.

H. Zwaardemaker: Die Physiologie des Geruchs, Leipzig, Engelmann, 1995.

Hristov A. N., M. Hanigan, A. Cole, R. Todd, T. A. McAllister, P. M. Ndegwa, and A. Rotz - Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots - Department of Dairy and Animal Science, Pennsylvania State University, University.

ISPRA – Italian Emission Inventory 1990-2017 – Informative Inventory Report 2019; 306/2019.

ISPRA – Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento – a cura di Eleonora Di Cristofaro.

J.E. Amooore, E. Hautala: Odor as an aid to chemical safety: odor threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution. Journal of applied toxicology, vol 3 n. 6, 1983.

Journal of Animal Science - "Ammonia and Hydrogen sulfide emissions from swine production facilities in North America".

Kees de Roest, Paolo Rossi, Laura Valli e Maria Teresa Pacchioli – "Prime valutazioni dei costi delle misure per la riduzione delle emissioni in atmosfera di ammoniacale delle attività zootecniche" – C.R.P.A. – Confagricoltura – Ottobre 2016.

L. Bozzola, A. Damiani; Tecniche di contenimento degli odori. XXXII Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Milano 29 giugno - 3 luglio 1987.

Life ACQUA – Achieving good water quality status in intensive animal production areas – CRPA 2014.

L.S. Caronno, A. Foschi, P.M.I.P., Definizione odori e problemi inerenti ai controlli e alle autorizzazioni, 1998 Milano.

Lisovac e Shooter 2003 - Volatiles from sheep wool and the modification of wool odour.

Martini Federica - Emissioni odorigene: quale disciplina? – Tuttoambiente.it

McGinley C.N., Mahin T., Pope R.J. - Elements of Successful Odor/Odour Laws. WEF Odor/VOC Specialty Conference, Cincinnati – 2000.

MiPAAF – Linee guida per la riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività agricole e zootecniche, secondo quanto previsto dall'art. 5, comma 1, lettera b dell'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure di risanamento della qualità dell'aria nel Bacino Padano del 19 dicembre 2013.

Monteny G.J., Erisman J.W. – Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction – Netherlands Journal of Agricultural Science – 1998.

Mrad Meriam – Analisi del contesto Veneto riguardo le emissioni di gas climalteranti e di ammoniaca dal comparto agricolo-zootecnico – Report Regione Veneto, Sezione Agroambiente, Ufficio Sistemi Agricoli e Risorse Naturali, 2014.

Mrad Meriam – Migliori Tecniche Disponibili negli allevamenti suinicoli ed avicoli: guida tecnica per una zootecnia sostenibile – Sezione Agroambiente, Ufficio Sistemi Agricoli e Risorse Naturali, giugno 2016.

Nicell, J.A. (2009) Assessment and Regulation of Odour Impacts. Atmospheric Environment.

Options for Ammonia Mitigations – Guidance from the UNECE task force on reactive nitrogen.

P.Pelosi: Classificazione e misura degli odori, Chirotti Editori, 1994.

Pantaleo Alessandra - Confronto dei fattori di emissione dell'ammoniaca per le specie animali in produzione zootecniche - ARPA Lombardia, Settore Monitoraggi Ambientali Modellistica qualità dell'aria e inventari.

Sabina Licen, Università degli Studi di Trieste; Rossana Michelini, Alessandra Pillon, *“Molestie olfattive: cosa sono e come gestirle”* - realizzato da: Sabina Licen, Università degli Studi di Trieste; Rossana Michelini, Alessandra Pillon, ARPA FVG; Alessio Del Carlo, ARPAE.

Schulz T., Balch A., Bowly S. - Odour intensity measurement: an overview of its potential for use in odour impact assessment and control. Clean Air and Environmental Quality – 2000.

Sommer S.G., Christensen M.L., Schmidt T., Jensen L.S. – Animal Manure Recycling: Treatment and management – Wiley United Kingdom – 2013.

R. Serra, L. Dugagnani: Qualità, effetti e misura degli odori nell'ambiente. Ingegneria ambientale, vol. 17, n. 5, maggio 1988.

R.W. Moncrieff; La chimica dell'odore. Enciclopedia della chimica, vol. 8, 1977.

Regione Campania – Misura 14 Benessere degli Animali – www.agricoltura.regione.campania.it

Rossi Paolo – Un progetto per valutare le emissioni negli allevamenti di bovine (da latte) – CRPA S.p.A., Reggio Emilia.

Ruminanthia.it - Emissioni di ammoniaca negli allevamenti di bovini da latte USA: un modello per quantificazione e mitigazione.

Ruminantia.it - Alghe marine nell'alimentazione animale per ridurre le emissioni di metano.

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente: Metodologie per la valutazione delle emissioni odorogene – Gruppo di lavoro 13 del programma triennale 2014-2016 dell'SNPA – Delibera n. 38/2018

Yodd R.W., Cole N.A., Clark R.N. – Reducing crude protein in beef cattle diet reduces ammonia emissions from artificial feedyard surfaces – Journal Environmental Quality – 2006.

UNECE – Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources – 2014.

UNECE – Framework Code for Good Agricultural Practice for reducing Ammonia Emissions – Brussels 2015.

Valli Laura, Immovilli Alessandra, Labartino Nicola, Moscatelli Giuseppe: Emissioni di odori dagli allevamenti zootecnici – Centro Ricerche Produzioni Animali, C.R.P.A. SpA Reggio Emilia.

Valli L., Fabbri C., Mazzotta V., Bonazzi G., - Tecniche di abbattimento per ammoniaca e gas serra da allevamenti suinicoli ed avicoli – Clima e ambiente CRPA 2002.

Valli Laura, CRPA – La revisione del BREF (BAT Reference Document) per gli allevamenti zootecnici. Le novità per il settore suinicolo – Convegno ambiente e sanità nella filiera suinicola italiana, 19 marzo 2015.

World Health Organization WHO - Air Quality Guidelines for Europe – Second Edition, 1 gennaio 2000.

Ziemacki G., Settimo G., (2007). Problematiche inerenti al rilevamento di sostanze odorogene in: La cultura e le tecnologie ambientali in Italia ed in Europa. - L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. S.p.A.-Rimini ECOMONDO.

RINGRAZIAMENTI

Prima di procedere con i doverosi ringraziamenti per chi mi ha concesso questa opportunità e per chi mi ha supportato nel raggiungimento di questo, seppur sudatissimo, stupendo traguardo, desidero fare un riferimento e menzionare un'intervista che ho ascoltato casualmente qualche settimana prima di superare il mio ultimo esame di laurea.

Siamo a Milwaukee nello stato del Wisconsin, negli Stati Uniti d'America; la stagione del campionato di basket NBA ha chiuso i battenti per quel che riguarda la Regular Season, e Giannis Antetokounmpo che è una delle star della National Basketball Association, nonché giocatore di spicco della franchigia dei Milwaukee Bucks, è intento a rispondere alle incalzanti domande dei giornalisti sportivi circa l'eliminazione dai playoffs della sua squadra, ad opera dei Miami Heat:

Giornalista: *"Questa stagione è da considerarsi un fallimento?"*

Giannis: *"Eric, mi hai fatto la stessa domanda lo scorso anno. Ma tu ottieni una promozione ogni anno? E quando non la ottieni, il tuo anno è un fallimento? Sì o no?"*

Giornalista: *"No."*

Giannis: *"Ogni anno lavori per arrivare a un obiettivo: che sia una promozione, prenderti cura della tua famiglia, prendere una casa, qualcosa. Non si parla di fallimento, ma di fare dei passi verso il successo. Michael Jordan ha giocato 16 stagioni nella NBA, ha vinto 6 volte: le altre 9 sono state un fallimento? No! Non esiste fallimento nello sport. Ci sono giorni buoni e giorni meno buoni. In alcuni sei in grado di ottenere il successo, in altri no. Qualche volta è il tuo turno, altre volte no. Questo è lo sport! Non devi sempre vincere, vincono anche gli altri e quest'anno vincerà qualcun altro".*

Sulla scorta dell'intervista sopra riportata, che fa molto riflettere su ciò che la società vuole e su ciò che invece dovrebbe essere, ritengo che qualsiasi percorso individuale sia fatto di tappe e ogni tappa nasconde delle sfide da superare, e come nello sport, anche nello studio, nella vita, la cosa importante è apprendere gli insegnamenti ma soprattutto è importante sapersi rialzare dalle sconfitte, togliendo l'attenzione sui giudizi altrui e rimanere concentrati sul proprio percorso che si è deciso di intraprendere, anche perché il famoso detto non recitava "chi va piano va sano e va lontano"?

Tornando ai ringraziamenti veri e propri, voglio prima di tutto dire grazie al mio Relatore, il Professore Giorgio Passerini, che ha avuto l'intuizione di propormi il tema del mio tirocinio e poi della mia tesi, che ho trattato in questo documento, fornendomi supervisione e spunti utilissimi e mettendomi a disposizione la professionalità, la serietà, la disponibilità e la guida dell'Ing. Simone Virgili, mio Correlatore. A loro sono molto grato per avermi dato questa opportunità.

Voglio proseguire poi ringraziando la mia splendida famiglia, composta dai miei genitori e dalla mia sorella maggiore; loro per me sono il faro che mi ha sempre guidato quando avevo bisogno di supporto, sono stati la mia corazza e mi hanno permesso di fare tutto ciò che ho fatto, addossandomi, anzi donandomi, un senso di responsabilità senza eguali. Mio padre con la sua "freddezza" che ad ogni buon risultato mi metteva davanti il prossimo obiettivo da dover perseguire, senza mai lodarmi (Grazie!); mia madre che con la sua estrema dolcezza, si felicitava con me, ma mi incoraggiava a guardare al prossimo obiettivo, senza mai lodarmi (Grazie!); mia sorella "Sisa", più grande di me di qualche anno, che mi ha aperto la strada, mi ha guidato dandomi consigli, ascoltando le mie difficoltà e festeggiando con me dei miei traguardi, ma anche lei senza mai lodarmi troppo (Grazie!). Di loro sono orgoglioso, estremamente geloso e anche se fatico ad esternare l'amore per loro, sarò grato in ogni secondo della mia vita.

Ringrazio i miei nonni, che hanno sofferto silenziosamente e gioito animosamente insieme a me per ogni piccola battaglia vinta, grazie a tutti e un grazie particolare a nonna Delia che può festeggiare con me questo traguardo finale.

Ringrazio con il cuore in mano Ele, la mia metà, che è entrata in corsa nel mio percorso di studi, che ha sofferto insieme a me, che mi ha spronato, che mi ha consigliato e soprattutto mi ha sopportato quando esternavo le mie ansie pre-esame; lei è stata il porto sicuro e lo stimolo per rialzarsi quando era difficile farlo (Grazie amore!). Ringrazio anche la sua splendida famiglia, tutta, ma in particolar modo Marco e Letizia che mi hanno accolto nella loro vita come un figlio; sarò sempre grato e riconoscente del vostro supporto e amore silenzioso (Grazie!).

Ringrazio i miei amici di una vita, Stefano, Lorenzo e Matteo, i miei compagni di corso, i miei ex coinquilini che si sono susseguiti negli anni, ma in particolar modo voglio ringraziare Michele, o meglio Michelino, a cui ho cercato di "rubare" la sua costanza e serietà nello studio (non ci sono riuscito totalmente ma gli sarò ugualmente riconoscente a vita).

Voglio ringraziare Mirko, compagno di vita di mia sorella, per il suo supporto silenzioso e discreto e per avermi dato la possibilità di conoscere Oriana, Roberto, Silvia e la sua stupenda famiglia; loro sono stati i primi ad aiutare me e la mia famiglia, accogliendoci nella loro casa in quei mesi terribili di fine 2016 quando il "mostro" decise di azzerarci il contatore, ponendo la mia famiglia davanti ad una delle sfide più grandi da affrontare. Grazie al loro amore, alla loro gentilezza, alla loro disponibilità infinita ho potuto, in quei mesi mentalmente terribili, avere una stanza silenziosa dove ritrovare la concentrazione per lo studio (per me siete degli angeli, e vi sarò, allo stesso tempo, grato e debitore per sempre).

Arrivano per ultimi, non per importanza ma semplicemente per questione anagrafica, quei due "nanetti" che dal 2019 hanno riempito il mio cuore di gioia e amore infinito, sono Tommaso e Nicola, i bimbi di Mirko e Sisa; grazie ai piccoletti, perché siete ogni giorno la mia gioia e felicità immensa.

